



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Química**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA  
DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE  
PACHALÚM, QUICHÉ.**

**María Alejandra Má Villatoro**

Asesorada por el Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval

**Guatemala, septiembre de 2006**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD PARA EL  
SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL  
MUNICIPIO DE PACHALÚM, QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARÍA ALEJANDRA MÁ VILLATORO**

ASESORADA POR EL ING. RENATO GIOVANNI PONCIANO SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Manuel Tay Oroxóm
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne 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:

### **PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PACHALÚM, QUICHÉ,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha dieciocho de mayo de 2005.

María Alejandra Má Villatoro

## **DEDICATORIA A:**

**Mi madre Sandra Eloísa**

Por llenar de AMOR cada día de mi vida

**Mi hermano Víctor Hugo**

Por ser el mejor compañero todos estos años

**Dr. Luis Alexis Calderón Maldonado**

Por ser ejemplo de dedicación y por el apoyo este tiempo

**Botoneta**

Por compartir en mi vida tantos momentos de alegría

Aún...

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**SER SUPREMO**

Por permitirme ser una chispa divina y darme la oportunidad de vivir cada día

**Arquitecto Mario Rodas del Valle**

Por su amistad y apoyo durante mi paso por esta facultad

**Mis compañeros**

Por compartir información y horas de estudio

**Docentes de la Escuela de Ingeniería Química**

Por transmitir sus conocimientos y pasión por la ingeniería química

**Licenciado Saulo de León Estrada**

Por propiciar el acercamiento con la Municipalidad de Pachalúm, Quiché

**Corporación Municipal de Pachalúm**

Por abrir las puertas del Municipio y apoyar la realización de este proyecto, especialmente al Señor Alcalde Municipal, licenciado Selvin Boanerges García Velásquez





# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. AGUA POTABLE .....</b>	<b>1</b>
1.1. Definiciones .....	1
1.2. Características .....	3
1.2.1. Físicas .....	4
1.2.2. Químicas.....	6
1.2.3. Organolépticas.....	8
1.2.4. Microbiológicas .....	9
1.3. Calidad del agua .....	11
<b>2. SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....</b>	<b>15</b>
2.1. Aspectos generales de los sistemas sanitarios de agua potable ....	15
2.1.1. Captación.....	16
2.1.2. Conducción.....	19
2.1.3. Tratamiento.....	20
2.1.4. Almacenamiento .....	23
2.1.5. Distribución .....	23
2.2. Capacidad.....	24

<b>3.</b>	<b>DESINFECCIÓN DE AGUA PARA POTABILIZACIÓN .....</b>	<b>27</b>
3.1.	Desinfección .....	27
3.2.	Tipos de desinfectantes.....	29
3.2.1.	Calor .....	33
3.2.2.	Radiación .....	34
3.2.3.	Productos químicos.....	36
<b>4.</b>	<b>PLAN DE SEGURIDAD PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE ....</b>	<b>41</b>
4.1.	Medidas de control .....	43
4.1.1.	Desinfección.....	45
4.1.2.	Administración.....	47
4.2.	Monitoreo.....	49
4.3.	Programas de apoyo .....	51
4.4.	Guía para la elaboración del plan de manejo .....	52
<b>5.</b>	<b>MUNICIPIO DE PACHALUM, QUICHÉ .....</b>	<b>55</b>
5.1.	Aspectos generales .....	55
5.2.	Perfil topográfico.....	59
5.3.	Mapa cartográfico .....	61
5.4.	Condiciones climatológicas .....	62
5.5.	Condiciones Sanitarias .....	63
5.5.1.	Centros de salud .....	63
5.5.2.	Agua potable .....	63
5.5.3.	Alcantarillado.....	64
5.5.4.	Otros servicios.....	65
5.6.	Ordenamiento Urbano .....	66
5.7.	Índices demográficos.....	70
5.7.1.	Población.....	70
5.8.	Abastecimiento de agua .....	72

5.8.1.	Fuentes de abastecimiento al sistema de agua potable ...	72
5.8.2.	Acceso que tiene la población al agua .....	72
<b>6.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PACHALÚM, QUICHÉ .....</b>	<b>75</b>
6.1.	Descripción .....	75
6.1.1.	Captación.....	75
6.1.2.	Transporte .....	76
6.1.3.	Almacenamiento .....	77
6.1.4.	Distribución .....	79
6.2.	Evaluación del sistema .....	82
6.2.1.	Diagrama de flujo del sistema actual de agua potable ....	82
6.2.2.	Captación.....	85
6.2.3.	Conducción.....	86
6.2.4.	Almacenamiento .....	86
6.2.5.	Desinfección .....	88
6.2.6.	Distribución .....	89
6.2.7.	Administración .....	90
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS DEL AGUA POTABLE QUE SE INTRODUCE A PACHALÚM, QUICHÉ .....</b>	<b>93</b>
7.1.	Toma de muestras .....	93
7.1.1.	Selección de lugares físicos .....	97
7.1.2.	Condiciones .....	98
7.2.	Resultados .....	101
7.3.	Análisis de resultados .....	103

<b>8. PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PACHALÚM, QUICHÉ .....</b>	<b>107</b>
8.1. Identificación de las medidas de control.....	107
8.1.1. Desinfección.....	108
8.1.2. Renovación del sistema .....	110
8.1.3. Reglamento .....	112
8.1.4. Administración .....	112
8.2. Plan de manejo.....	114
8.3. Informes.....	116
8.4. Monitoreo.....	117
8.5. Programas de apoyo .....	117
8.6. Programación para la implementación del plan de seguridad .....	119
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>127</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>137</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>155</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Ubicación del Municipio de Pachalúm en el departamento de Quiché	56
2	División territorial del Municipio de Pachalúm	57
3	Mapa cartográfico del Municipio de Pachalúm, Quiché	61
4	Plano de distribución del área urbana del Municipio de Pachalúm, Quiché	67
5	Esquema del área urbana del Municipio de Pachalúm, Quiché	69
6	Diagrama de flujo simplificado del sistema actual de distribución de agua potable en el Municipio de Pachalúm, Quiché	83

## TABLAS

I	Sustancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles	7
II	Características físicas. Límite máximo aceptable y límite máximo permisible que debe tener el agua potable	9
III	Actividades del plan de seguridad, tiempo de implementación y periodicidad	119

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Å</b>	Ángstrom ( $10^{-9}$ metros)
<b>A. P. H. A.</b>	American Public Health Association
<b>A.W.W.A</b>	American Water Works Association
<b>ADN</b>	(ácido desoxirribonucleico) Biopolímero cuyas unidades son desoxirribonucleótidos y que constituye el material genético de las células y contiene en su secuencia la información para la síntesis de proteínas.
<b>ARN</b>	(ácido ribonucleico) Biopolímero cuyas unidades son ribonucleótidos. Según su función se dividen en mensajeros, ribosómicos y transferentes.

<b>CII</b>	Centro de Investigaciones
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
<b>L</b>	Litros
<b>L/h/d</b>	Litros por habitante por día
<b>L/s</b>	Litros por segundo
<b>mg</b>	Miligramos
<b>NGO</b>	Norma Guatemalteca Obligatoria
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la salud



<b>pH</b>	(Potencial de hidrógeno) Logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno de una solución
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>PVC</b>	Siglas, en inglés, de <i>polyvinylchloride</i> , policloruro de vinilo
<b>THM</b>	Trihaluometanos
<b>U</b>	Unidades de color en la escala de platino-cobalto
<b>UNEPAR</b>	Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales
<b>UNT</b>	Unidades nefelométricas de turbiedad
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>°C</b>	Grados Celsius o centígrados
<b>μS</b>	Micro Siemens



## GLOSARIO

<b>Agente oxidante</b>	Entidad química que capta electrones. Puede ser un ion o una molécula
<b>Clorador</b>	Equipo empleado para agregar cloro a las aguas industriales o municipales con el fin de evitar la proliferación de microorganismos y algas
<b>Fermentación</b>	Transformación de sustancias orgánicas, principalmente hidratos de carbono con la participación de microorganismos.
<b>pH</b>	Símbolo con el que se representa el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno de una solución. La neutralidad corresponde a $\text{pH} = 7$ , la acidez a un pH menor de 7 y la alcalinidad a uno mayor de 7

<b>Sistema</b>	Conjunto de cosas o fenómenos que, ordenados entre sí, contribuyen a un determinado objeto.
<b>Solubilidad</b>	Propiedad que presenta un sólido de disolverse en un líquido formando una mezcla homogénea. La solubilidad depende de la naturaleza del disolvente, del soluto y de la temperatura.
<b>Tipo endo</b>	Del gr. <i>endon</i> , hacia adentro, que absorbe

## **RESUMEN**

El universo de este trabajo de investigación está constituido por el tema del agua potable. Se desarrollan sub temas como lo son: los sistemas de abastecimiento de agua potable, la operación de desinfección de agua para potabilización, así como lo relativo a lo que se conoce como plan de seguridad para sistemas de agua potable.

El objeto de estudio de la presente investigación lo constituye el sistema de distribución de agua potable del casco urbano del Municipio de Pachalúm, Quiché. Se investigó el sistema y sus elementos de forma técnica y con ello se elaboró un diagnóstico. Además, se determinó, por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, la calidad del agua que se surte a la población. Con la información recabada, así como los resultados de los análisis, se realizó la caracterización del sistema.

Para la elaboración de la propuesta del plan de seguridad, se identificaron los riesgos y sus posibles medidas de control. También, se determinaron los parámetros de monitoreo del sistema.

El sistema de agua potable analizado, cuenta con las etapas de captación, conducción, almacenamiento y distribución. Entre las etapas de conducción y almacenamiento se lleva a cabo una operación de desinfección.

Como parte del sistema, se estudió la forma de administración actual del servicio.

La calidad del agua que se distribuye a la población cumple con los requisitos mínimos establecidos en las leyes respectivas, es decir, se surte efectivamente a la comunidad con agua potable. Sin embargo, se detectó que el agua está propensa a contaminarse en las etapas previas al almacenamiento.

Entre los principales riesgos identificados a través del presente estudio, se encuentran: deficiencias en el sistema de administración del sistema, deficiencias en el sistema de cobro del servicio, deficiencias en la operación de desinfección del agua y carencia de programas de apoyo.

## **OBJETIVOS**

- **General**

Realizar un estudio de los componentes del sistema de distribución de agua potable, analizar la calidad del agua que se surte a la población y entregar una propuesta de un plan de seguridad para el sistema de agua potable del Municipio de Pachalúm, Quiché.

- **Específicos**

1. Elaborar un diagnóstico y estudio técnico del sistema de agua potable para el casco urbano del Municipio de Pachalúm, Quiché.
2. Captar muestras de agua en varios puntos del sistema de agua potable y determinar por medio de análisis físico-químico sanitario y bacteriológico, las características del agua que se introduce al casco urbano del Municipio de Pachalúm, Quiché.

3. Identificar los riesgos en cada una de las etapas del sistema, así como las medidas de control a tomar para el sistema de agua potable del casco urbano del Municipio de Pachalúm, Quiché.



## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales que, hasta décadas recientes, se tenía como inagotable. Aunque la superficie del planeta está compuesta en su mayoría por agua, casi la totalidad de ésta no es apta para uso industrial, agrícola o consumo humano, ya que, es agua salada de los mares. Del porcentaje restante, sólo una porción puede ser bebible.

Realizar estudios técnicos en sistemas de agua potable desde cualquier perspectiva es tan importante y necesario, ya que, el agua es el sustento de la vida. La calidad del agua potable influye en la salud de las personas, en su desarrollo y por ende en su calidad de vida.

En Guatemala, la población que tiene acceso al agua potable, es todavía escasa, aún cuando a nivel mundial este servicio es prioritario e incluso, ha sido declarado por la Organización de Naciones Unidas como un derecho humano básico.

El presente estudio pretende ser un mínimo aporte para mejorar las condiciones de vida de residentes del Municipio de Pachalúm en el departamento de Quiché.

Este trabajo fue propiciado, inicialmente, por el Alcalde Municipal de Pachalúm, licenciado Selvin Boanerges García Velásquez. Surgió en un primer momento con la idea de realizar constantes pruebas de calidad del agua durante varios meses para poder desarrollar un programa de desinfección. Sin embargo, se modificó el enfoque de la investigación, se amplió y convirtió en una propuesta de un plan de seguridad que, además del estudio de las características del agua, incluye una caracterización del sistema de distribución, así como la identificación de riesgos y sus posibles medidas de control.

# 1. AGUA POTABLE

## 1.1. Definiciones

Agua potable es el agua que tiene características de pureza deseadas y que generalmente se reconoce como apta para el consumo humano, es decir, aquella que al ingerirla no le hace daño alguno. El agua potable “debe encontrarse libre de organismos patógenos; de sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables; y por otra parte debe ser atractiva a los sentidos.”<sup>1</sup> En términos específicos, se trata de “aquella cuyas condiciones físicas y químicas y caracteres microbiológicos no sobrepasan ninguno de los límites establecidos como máximo o `tolerables’”<sup>2</sup> Estos límites están establecidos en las diversas legislaciones y se basan en estudios y análisis de calidad del agua.

---

1

Fair, Geyer & Okun. **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.** (México: Editorial Limusa, 1971) p. 14

2

José Catalán. **Diccionario técnico del agua.** (España: Editorial Bellisco, 1977) p. 35

Una definición importante es la que establece la norma COGUANOR NGO 29001<sup>3</sup>, la cual indica que agua potable es “aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.”

A simple vista, o aún bajo los ojos de un experto, no se puede saber de forma certera si el agua es potable o no. Para ello, es necesario realizar pruebas específicas y medir los parámetros que determinan su calidad. “La potabilidad (del agua) sólo se puede determinar por pruebas químicas y bacteriológicas de laboratorio”<sup>4</sup>. “El análisis químico indica si está contaminada (por sustancias químicas)..., por otro lado, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de manera que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación (por carga bacteriana o microbiológica).”<sup>5</sup>

---

3

La norma COGUANOR NGO 29001 es la norma emitida por la Comisión Guatemalteca de Normas, dependencia del Ministerio de Economía, que fija los valores de las características que definen la calidad del agua potable para Guatemala.

Cuando a lo largo de este trabajo se haga referencia a ella, debe entenderse que se trata de la primera revisión de dicha norma, año 1999.

4

Pelczar. **Microbiología**. (4ª Edición; México: Editorial Mc Graw Hill, 1995 ) p. 683

5

*Loc. Cit.*

## 1.2. Características

Las particularidades que debe poseer el agua para ser potable, se refieren exclusivamente a atributos deseables y / o permisibles para el ser humano. Para poder determinar las características de calidad para el agua potable se deben tener presente dos términos importantes; el límite máximo aceptable – LMA-, el cual “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”<sup>6</sup>; y el límite máximo permisible – LMP- que “es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada al consumo humano.”<sup>7</sup>

La caracterización del agua se realiza captando muestras estadísticamente representativas y analizándolas en laboratorios especializados en análisis de calidad de agua.

---

6

Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR- **Norma COGUANOR NGO 29001**. (Guatemala: Ministerio de Economía, 2000) art. 3.3

7

*Ibidem*, art. 3.4.

### 1.2.1. Físicas

Entre las propiedades físicas que determinan la calidad del agua, se encuentran la temperatura y el pH. Es importante anotar que estos parámetros afectan la solubilidad de componentes químicos, inclusive, de agentes contaminantes.

La temperatura es una “variable intensiva y función de estado que puede definirse como una medida de excitación de la materia o de lo caliente que ésta está...”<sup>8</sup> En términos generales, la temperatura es “una manifestación del nivel térmico que tienen los cuerpos.”<sup>9</sup> La temperatura adecuada que debe tener el agua para consumo humano está entre 15 °C y 25 °C, como límites máximos aceptables, y hasta un límite máximo permisible de 34 °C.<sup>10</sup>

---

8

Antonio Valiente. **Diccionario de ingeniería química.** (México: Longman Editores, 1990)  
p. 182

9

Thema Equipo Editorial. **La biblia de la física y química.** (España: Lexus Editores, 2003)  
p. 115

10

La Norma COGUANOR NGO 29001 toma este parámetro como característica química, y por ello en dicha norma los parámetros se encuentran en la tabla referente a las sustancias químicas y sus respectivos límites. Sin embargo, se trata de una característica física.

El pH es un valor que cuantifica el grado de alcalinidad o de acidez que tiene el agua. El potencial de hidrógeno, abreviado pH, es una “magnitud que caracteriza la acidez o basicidad de una solución.”<sup>11</sup> Para el agua potable, éste debe mantenerse entre 6.5 y 8.5; límites máximos permisibles.<sup>12</sup>

La turbiedad es otra de las características físicas que se debe determinar. Ésta se refiere a la cantidad de sustancias suspendidas en agua y que pueden ser determinadas por la disminución en la intensidad luminosa de un haz de luz.

La conductividad eléctrica es una propiedad física y que “es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.”<sup>13</sup> En términos sencillos, esta característica indica si una solución conduce o no electricidad.

---

11

Angenault, Jaques. **Diccionario enciclopédico de química** (México: Compañía Editorial Continental S. A. (CECSA), 1999) p. 366

12

La Norma COGUANOR NGO 29001 toma este parámetro como característica química, y por ello en dicha norma los parámetros se encuentran en la tabla referente a las sustancias químicas y sus respectivos límites. Sin embargo, se trata de una característica física.

13

APHA, AWWA, WPCF. **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales**, (España, Ediciones Díaz de Santos, 1989), p. 2-63

Otras características de este tipo se refieren principalmente a la apariencia del agua: si ésta tiene olor y sabor agradable, si se nota la presencia de residuos y si es incolora o presenta algún tipo de pigmentación. Esta clasificación es parte de la Norma COGUANOR NGO 29001, que toma como características físicas el color, el olor, el sabor, la turbiedad,<sup>14</sup> así como la conductividad eléctrica, la cual debe ser de 100  $\mu\text{S} / \text{cm}$  a 750  $\mu\text{S} / \text{cm}$  a 25 °C.

### 1.2.2. Químicas

Químicamente el agua es el solvente universal y por ello, está propensa a contaminarse, ya “que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua.”<sup>15</sup>

Para que el agua sea potable, el contenido de ciertos componentes químicos no debe sobrepasar los niveles establecidos por autoridades en la materia. Cada país fija sus parámetros y los recopila en leyes referentes al agua potable o a su calidad. De acuerdo a la legislación nacional vigente, la norma COGUANOR NGO 29001 establece los límites aceptable y permisible para

---

14

Estas características se desarrollarán en la sección 1.2.3 de este capítulo por estar contenidas dentro de una categoría, a la cual según textos consultados, debe referirse de forma separada como características organolépticas.

15

Microsoft Corporation. **Biblioteca de consulta Microsoft ® Encarta ® 2005.** (versión electrónica)



sustancias químicas determinadas. Esta información está contenida en la tabla I:

**Tabla I. Sustancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles**

<b>Sustancia</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Cloro residual libre	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro	100.000 mg/L	250.00 mg/L
Conductividad	---	< de 1500 $\mu$ S/cm
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	100.00 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0 °C – 25.0 °C	34.0 °C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

**Fuente: Ministerio de Economía, Norma COGUANOR NGO 29001, primera revisión. 1999**

La norma COGUANOR NGO 29001 contempla además de las sustancias químicas contenidas en la tabla anterior, otros límites para sustancias tales como compuestos orgánicos dañinos para la salud, compuestos inorgánicos, biocidas, y otras sustancias no deseadas en el agua. Otras legislaciones tienen definidos los límites de estas y otras sustancias.<sup>16</sup>

### 1.2.3. Organolépticas

El término organoléptico se refiere a “las propiedades de los cuerpos que se pueden percibir por los sentidos.”<sup>17</sup> En el caso de las propiedades del agua, se refiere a las propiedades que se pueden observar, degustar y oler. El agua potable debe “carecer de olor y sabor desagradables, de coloración, turbidez y sedimentos perceptibles.”<sup>18</sup> Como se mencionó anteriormente, estas características las contempla la Norma COGUANOR NGO 29001 dentro de los parámetros físicos. Sus respectivos límites se resumen en la tabla II:

---

16

Entre ellas cabe mencionar las de los países vecinos; la Norma Salvadoreña obligatoria para la calidad del agua potable y la Norma oficial Mexicana “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”

17

**Diccionario Ilustrado Océano de la Lengua Española.** (España: Grupo Editorial Océano) p. 703

18

Catalán, *Ob. Cit.*, p. 42

**Tabla II. Características físicas. Límite máximo aceptable y límite máximo permisible que debe tener el agua potable**

<b>Característica</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Color	5.0 u	35.0 u
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT

**Fuente: Ministerio de Economía, Norma COGUANOR 29001, primera revisión. 1999**

#### **1.2.4. Microbiológicas**

Estas propiedades se refieren a la cantidad permisible de microorganismos que pueden estar presentes en el agua. Los principales agentes infecciosos que contiene el agua son todos aquellos que caen dentro de cualquiera de las tres siguientes categorías: virus, bacterias y parásitos eucarióticos. Éstos constituyen la preocupación principal, tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados,<sup>19</sup> en cuanto la determinación de la calidad del agua.

---

19

*World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality.* (Suiza: versión electrónica, 2004) [http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWQ2004web.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf). p. XVI. Enero 2006

Para determinar el contenido de microorganismos, de conformidad con la norma COGUANOR NGO 29001, se realizan pruebas para determinar la presencia del grupo coliforme<sup>20</sup>, de forma total, fecal y la presencia de *Escherichia coli*.<sup>21</sup> Según esta norma, el grupo coliforme total se define de dos

---

20

El grupo coliforme “incluye no sólo a los organismos que se originan en el tubo intestinal de los seres de sangre caliente (coli fecales, principalmente a la *Escherichia coli*), sino también a los organismos provenientes del suelo y de la vegetación (especialmente el *Aerobacter aerogenes*).” Fair, Geyer & Okun. **Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.** Ob. Cit. p. 467

21

“Las bacterias coliformes se utilizan como organismos indicadores en esta prueba {análisis utilizado para identificar microorganismos en el agua}. Aunque estos no son patógenos, se encuentran en el tracto intestinal de todos los animales de sangre caliente, de forma que su presencia es una indicación de que pueden estar presentes organismos patógenos. Una indicación más positiva de un peligro para la salud pública es la identificación posterior de algunas de éstas como bacterias coliformes fecales.”  
Kemmer, Mc Callion, NALCO *Chemical Company*. **Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones.** (México: Mc Graw Hill, 1989) p.5-6

“El hecho de que el grupo de bacterias coliformes indica contaminación se basa en decenas de descubrimientos como los siguientes: 1. Cuando se examinan organismos coliformes en aguas las aguas negras, se encuentra que aproximadamente la mitad de los organismos que fermentan la lactosa pertenecen a especies que se originan en la materia fecal. Debido a que las heces humanas son la fuente principal de los patógenos entéricos, la identificación de coliformes ofrece una evidencia significativa del peligro... La conclusión que se puede derivar consiste en que el extenso número de organismo coliformes en las excreciones humanas los convierte en excelentes indicadores biológicos de contaminaciones potenciales por bacterias entéricas patógenas.” Fair, Geyer & Okun, **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.** Ob. Cit. p. 468

“Se ha dedicado mucho esfuerzo a la búsqueda de indicadores bacterianos de las contaminaciones peligrosas, diferentes al grupo coliforme. Houston reportó que los estreptococos fecales pueden ser indicadores útiles de contaminación peligrosa porque “es fácil demostrar su presencia en aguas recientemente contaminadas y aparentemente se encuentran ausentes de aguas que están fuera de sospecha de contaminación. Aun cuando la técnica de membrana hace posible la prueba de los estreptococos fecales como indicadores significativos y prácticos de la contaminación de aguas, su descarga por el hombre en números menores que los de los coliformes, implica la aceptación de un factor inferior de inseguridad.”  
A.V. Houston **Supplements to the 28th and 29th annual reports of the local government board containing the report of the medical officer of health for 1889-99 and 1899-1900,** Inglaterra, citado por Fair, Geyer & Okun, Ob. Cit. p. 468

maneras, dependiendo del método de análisis empleado para su detección. Cuando se emplea el método de tubos múltiples de fermentación “son bacterias en forma de bacilos, aerobio y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35 °C ± 0.5 °C en un período de 24 a 48 h” y cuando se emplea el método de membrana de fermentación, son “todos los microorganismos que desarrollen una colonia rojiza con brillo metálico dorado en un medio tipo endo (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 h a 35 °C”

Otras legislaciones incluyen dentro de las características bacteriológicas, el recuento total de bacterias aerobias, la presencia de bacterias fecales, y gérmenes patógenos.<sup>22</sup>

### **1.3. Calidad del agua**

Comúnmente se piensa que la calidad del agua puede medirse con un solo parámetro. Según lo explicado anteriormente, son muchos los factores que indican si el agua puede ser consumida, de forma segura, por los seres humanos o no. En teoría, cualquier agua puede transformarse en potable si es llevada a través de las etapas que eliminan o disminuyen el contenido de ciertos

---

<sup>22</sup>

Para ver los límites, refiérase al Código Alimentario Español o a la Norma Salvadoreña obligatoria para la calidad del agua potable.

elementos hasta cantidades aceptables. Sin embargo, esto está muy alejado de la realidad, debido principalmente, a elevados costos de operación.

Hace tiempo que el agua que brota de las fuentes subterráneas y superficiales no es potable, aunque parezca, debido principalmente a focos de contaminación y a problemas ambientales. Por contaminación se entiende “cualquier alteración física, química o biológica del aire, el agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.”<sup>23</sup> Otra definición va más allá al decir que la contaminación, es “la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas”<sup>24</sup>

Entre los problemas ambientales que afectan la calidad del agua se encuentra la lluvia ácida, fenómeno por el cual el agua se combina con sustancias tóxicas al evaporarse en la atmósfera y cae contaminada en forma de lluvia; ésta penetra en las fuentes de agua, tanto sobre como debajo de la superficie terrestre.

---

23

Echarri Prim, Luis. **Ciencias de la tierra y del medio ambiente**. Libro electrónico. <http://www.ceit.es/asignaturas/ecología/hipertexto/00general/glosario.html>. Febrero 2006.

24

Microsoft Corporation. **Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005**. (versión electrónica)

Otra contrariedad de este tipo lo constituye el deficiente manejo de aguas residuales. Éstas son fuente de contaminación de las aguas ya que al no desecharlas adecuadamente, se infiltran en las capas de la corteza terrestre o son desaguadas en ríos o lagos.





## 2. SISTEMAS DE AGUA POTABLE

### 2.1. Aspectos generales de los sistemas sanitarios de agua potable

El objetivo primordial de un sistema sanitario de agua potable es el de prestar un servicio de calidad aceptable por los consumidores. Es indispensable que el agua que llega a la población esté libre de contaminantes. Por ello, al referirse a un sistema de abastecimiento de agua, se entiende que es un “conjunto funcional de obras, instalaciones, tuberías equipos y accesorios destinados a producir y distribuir agua en cantidad, calidad regularidad y confiabilidad adecuados”<sup>25</sup>

Para poder diseñar un sistema eficiente de distribución de agua potable hay que tomar en cuenta una serie de factores, tanto propios como ajenos al sistema. Desde el inicio se debe recolectar la mayor cantidad posible de información de cada una de las etapas, considerando factores internos y externos o ambientales. Esto permitirá la identificación de riesgos antes, durante y después de la puesta en marcha del sistema. La adecuada

---

<sup>25</sup>

Organización Mundial de la Salud- OMS-, Organización Panamericana de la Salud – OPS-. **Tesoro de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.** (Repidisca, 1987) p. 34

planificación permite el adecuado manejo del sistema, la identificación de las medidas de control, así como la correcta verificación y validación del mismo.

Los sistemas de agua potable eficientes son “un conjunto de obras destinadas a dotar de agua apta para el consumo humano a los pobladores de una comunidad.”<sup>26</sup> Dependiendo de las circunstancias, el sistema puede estar compuesto por varias unidades, entre las cuales están: la captación, la conducción, la etapa de tratamiento, el almacenamiento y la distribución.

### **2.1.1. Captación**

La etapa de captación consiste en agenciarse del vital líquido de fuentes naturales, las cuales pueden estar en la superficie, en forma de nacimientos o encontrarse bajo la superficie, en nacimientos subterráneos. La calidad del agua de estas fuentes varía considerablemente. “Las aguas superficiales suelen ser más turbias y contener mayor cantidad de bacterias que las subterráneas, pero éstas tienen mayores concentraciones de productos químicos en disolución.”<sup>27</sup> Para esta unidad en el sistema de distribución hay que considerar

---

<sup>26</sup>

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **Guía para la identificación y formulación de proyectos de agua potable y saneamiento.** (Guatemala: s.e., s.a.) p. 9

<sup>27</sup>

Microsoft Corporation. **Biblioteca de consulta Microsoft ® Encarta ® 2005.** (versión electrónica)

aspectos tales como la geología del terreno, la hidrología y la meteorología del lugar. Igualmente hay que agenciarse de información acerca de la vida silvestre en el lugar así como la forma e intensidad del uso de la tierra en el sector.<sup>28</sup>

En el caso de nacimientos sobre la corteza terrestre, es necesario tomar medidas de prevención para evitar que el agua que brota se contamine antes de entrar en el sistema. Para ello generalmente se debe rodear el área donde se localizan los nacimientos, con el fin de evitar el paso de personas y animales que puedan representar una amenaza a la calidad del agua.

Las principales variables a considerar en el diseño en estas condiciones son: el tipo de fuente (manantial, río, etc.), las características de dicha fuente, tales como su tamaño, profundidad, ubicación, altitud y condiciones térmicas; el flujo, su constancia, los tiempos de retención requeridos, los constituyentes naturales del agua, tanto físicos, químicos como microbiológicos; el ambiente circundante, la forma de protección y finalmente, la forma de transporte que se empleará en la conducción.<sup>29</sup>

En cuanto al aspecto físico, en estos casos se construyen cajas de captación, que son obras construidas para facilitar y encaminar el flujo a la

---

28

*World Health Organization. Ob. Cit. p. 54.*

29

*Loc. Cit.*

conducción deseada. En la entrada es recomendable la colocación de un filtro de malla, para evitar el paso de hojas, ramas o pequeñas basuras que puedan caer en la superficie del agua. La principal desventaja de agenciarse de agua de fuentes superficiales es que los cambios climáticos afectan la cantidad de agua a recolectar. Así, durante un verano con calor intenso o períodos de sequía, las fuentes superficiales pueden mermar.

Cuando se trata de fuentes subterráneas, para recolectar el agua es necesario llevar a cabo trabajos de excavación y posteriormente de bombeo. Para el diseño en estas circunstancias, se debe considerar al menos lo siguiente: la confinación del manto acuífero a explotar, la hidrología, el caudal del flujo, las áreas de recarga, la profundidad de la excavación, la protección del pozo y finalmente, la forma de transporte a emplear en la conducción.<sup>30</sup> La principal ventaja de esta fuente de abastecimiento es que los cambios climáticos que afectan a la superficie, no modifican su cauce, aunque la inversión inicial resulta ser mucho mayor que al optar por las fuentes superficiales.

---

<sup>30</sup>

*Loc. Cit.*

### **2.1.2. Conducción**

La siguiente etapa en los sistemas de abastecimiento de agua es la de conducción, que no es más que un conjunto de tuberías que sirven para transportar el agua desde la captación hasta la siguiente etapa, que puede ser la de tratamiento o de almacenamiento.

Especial atención requiere esta etapa debido a dos circunstancias: primero, el tipo de tubería que se emplea y segundo, la composición topográfica del suelo por donde ésta fluye. En cuanto a la tubería, hay que considerar el material a emplear, el diámetro adecuado para el flujo y otros factores para su instalación. De no estar debidamente colocada la tubería, ésta puede colapsar debido a la presión, puede agrietarse por piedras u objetos cortantes dejados en el lugar de su instalación, o puede representar un punto de estancamiento del agua. La consideración de la elevación y topografía del suelo permite diseñar correctamente un sistema de conducción. El agua puede ser transportada por diferencias o caídas de presión, o en algún momento puede requerirse de equipo de bombeo, dependiendo si el agua fluye pendiente abajo o si es transportada de un punto a otro de mayor altitud.

### 2.1.3. Tratamiento

La etapa de tratamiento constituye una fase esencial en cualquier sistema de distribución municipal de agua. Entre los factores importantes a considerar para el diseño de esta etapa están: la definición de los procesos a llevar cabo, el equipo a emplear y el diseño de su operación, el equipo para monitoreo, los químicos a emplear en los tratamientos y sus eficiencias, el grado de desinfección y eliminación de agentes patógenos, el tiempo de contacto y las concentraciones residuales.<sup>31</sup>

Esta etapa puede estar precedida de un sistema de pre-tratamiento, que generalmente consiste en floculación y coagulación. Estas dos operaciones permiten eliminar una porción considerable de microbios y bacterias antes de llevar el agua a la etapa de desinfección. La floculación y coagulación se llevan a cabo agregando al agua compuestos químicos llamados floculantes y coagulantes. Los floculantes son agentes que unen partículas pequeñas para formar flóculos de mayor tamaño. Estos flóculos sedimentan más rápido que las partículas aisladas debido a su gran tamaño.

Los coagulantes funcionan eliminando la carga negativa de las partículas en suspensión. Esta carga es lo que permite que las partículas se mantengan suspendidas, ya que constantemente se repelen unas a otras por ser iguales.

---

31

*Loc. Cit.*

Al haber en suspensión partículas con carga negativa y otras con carga positiva, éstas se atraen y se unen, formando coloides, que luego precipitan.

Tanto en la coagulación como en la floculación se requiere de un tanque de mezclado y de un tanque de sedimentación. En el tanque de mezclado se agregan los agentes químicos y se agita durante al menos treinta minutos. El tiempo exacto depende de la turbidez del agua. La velocidad de agitación debe ser lenta, entre 0.5 y 1.5 pies por minuto.<sup>32</sup> En el tanque de sedimentación, también llamado clarificador<sup>33</sup>, entre más tiempo permanezca el agua y más volumen contenga, mayor cantidad de floculos sedimentan. El tiempo mínimo que debe permanecer el agua es de cuatro horas.

Una técnica nueva que permite eliminar la etapa de floculación y coagulación se conoce como filtración en membranas. Éstas consisten en una "lámina fina de nitrocelulosa, acetato de celulosa, pergamino o polímeros sintéticos provistos de poros diminutos a través de los cuales pueden pasar moléculas pequeñas pero quedan retenidas las grandes."<sup>34</sup> El empleo de esta técnica de filtración permite eliminar partículas de diferentes tamaños, según el tamaño de los poros en la membrana. No requiere de mezclado ni de tiempo

---

32

[http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_purification](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_purification). Noviembre 2005. (un pie por minuto equivale a 0.00508 metros por segundo)

33

*Loc. Cit.*

34

Antonio Valiente. *Ob. Cit.* p. 124

de sedimentación, pero demanda el cambio de la membrana cuando ésta se satura.

Después de la floculación, coagulación y sedimentación, el agua debe ser filtrada. Normalmente se utilizan medios filtrantes granulares, entre los que están los lechos de arena o carbón triturado. El material retiene las partículas en suspensión que permanecen después de la etapa de pretratamiento. Éstas quedan atrapadas entre los poros del lecho de arena o carbón. Después de varios usos, se debe limpiar el filtro para que pueda seguir atrapando partículas. La regeneración del filtro se realiza mediante un retrolavado por medio del cual se hace pasar agua en dirección contraria a la del flujo de filtrado. Los remanentes de olores y sabores desagradables del agua se eliminan por oxigenación.

El diseño de la(s) etapa(s) de tratamiento dependen de las características del agua proveniente de las fuentes primarias. La variable principal requerida para diseñar el plan de tratamiento es la turbidez. Si el agua contiene muchas partículas en suspensión, requerirá mayor tratamiento que si contiene pequeñas cantidades.



#### **2.1.4. Almacenamiento**

La siguiente fase del sistema corresponde al almacenamiento. A esta etapa se suele pasar directamente después de la conducción. El agua que proviene de la conducción pasa a acumularse en grandes tanques. Para el diseño de esta etapa es importante considerar: los tiempos de retención, las variaciones con los cambios de estación, el acceso y la forma de protección de los tanques.<sup>35</sup>

Uno de los objetivos principales de contener el agua en estanques es la de regular la presión para que ésta sea constante a lo largo del día. Normalmente es aquí donde ocurre la desinfección. Los detalles acerca de esta operación se tratan en el siguiente capítulo.

#### **2.1.5. Distribución**

La última etapa es la de distribución. El agua ya potable pasa a través de la red de distribución, que generalmente está compuesta “de tuberías matrices y redes secundarias, que por lo general, son mallas o circuitos cerrados de diferentes diámetros y dotadas de los accesorios correspondientes, tales como:

---

<sup>35</sup>

*World Health Organization. Ob. Cit. p. 54*

válvulas para cortar o regular el paso de agua por una tubería...”<sup>36</sup>, y a través de ella es distribuida directamente a la población. El agua puede llegar a las casas o comercios si éstos cuentan con conexiones domiciliarias, o puede llegar a chorros comunales, a dónde debe acudir la población que carezca de conexión en su hogar.

Para diseñar adecuadamente esta etapa, se deben considerar: los lugares de distribución, las condiciones hidráulicas del sistema, las presiones a manejar, los flujos, la forma de protección contra retro- flujos, así como la acción residual del desinfectante empleado.<sup>37</sup>

## **2.2. Capacidad**

La capacidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable debe determinarse de forma proporcional a la población. Para una población rural con tamaño máximo de 3,000 habitantes, usualmente se emplea un sistema de almacenamiento con capacidad de hasta 60 m<sup>3</sup>, mientras que para un área

---

<sup>36</sup>

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, *Ob. Cit.* p. 12

<sup>37</sup>

*World Health Organization. Ob. Cit.* p. 54

urbana ésta debe ser al menos de 150 m<sup>3</sup>, ya que en las ciudades se contempla un volumen para cobertura de incendios.<sup>38</sup>

Otra forma de medir la capacidad del sistema es por medio del caudal de servicio, que indica la cantidad o volumen de agua que pasa por unidad de tiempo. Para una población de aproximadamente 10,000 habitantes, se recomienda que en áreas rurales el caudal sea entre 0.5 y 6 litros por segundo (L/s), y en áreas urbanas de 30 litros por segundo.<sup>39</sup>

También como forma de determinación de la capacidad de un sistema de agua potable, se ha empleado comúnmente el término dotación, que “es la cantidad de agua que se requiere para satisfacer la necesidad inmediata y futura de las personas y está en función del clima y del número de habitantes considerados como población proyecto.”<sup>40</sup> “... la cual se expresa en cantidad de agua por unidad de tiempo y por persona... En sistemas rurales la dotación es del orden de 80 litros por habitante por día... En los sistemas urbanos se observan dotaciones de 100 a 200 litros por habitante por día (L/h/d)...”<sup>41</sup>

---

38

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, *Ob. Cit*, p. 13

39

*Loc. Cit.*

40

Manuel Salguero España. “Consejos del consultor: El agua potable”. **Prensa Libre**. Guatemala, 27 de mayo de 2006.

41

*Loc. Cit.*



### 3. DESINFECCIÓN DE AGUA PARA POTABILIZACIÓN

#### 3.1. Desinfección

Según el Diccionario de la Lengua Española, desinfectar es “quitar a algo la infección o la propiedad de causarla, destruyendo los gérmenes nocivos o evitando su desarrollo.”<sup>42</sup> El término también se refiere a la “destrucción de bacterias patógenas, generalmente con un antiséptico químico o desinfectante.”<sup>43</sup> Y un desinfectante “es un agente, por lo regular químico, capaz de matar las formas en desarrollo, pero no necesariamente las esporas resistentes de microorganismos patógenos.”<sup>44</sup>

---

42

Asociación de academias de la lengua española. **Diccionario de la lengua española.** Vigésima segunda edición. Versión electrónica. <http://buscon.rae.es/diccionario/drae.htm>. Junio 2005.

43

Organización Mundial de la Salud – OMS - , Organización Panamericana de la Salud – OPS - *Ob. Cit.* p. 97

44

Pelczar, *Ob. Cit.*, p. 364

La característica esencial de la desinfección es que es selectiva, sólo tiene como objetivo eliminar o disminuir ciertos agentes específicos; los nocivos. Destruir selectivamente algunos organismos significa entonces que el agua debidamente desinfectada puede contener ciertos cuerpos o cierta cantidad de agentes nocivos, pero cuya proporción no es nociva para los seres humanos.<sup>45</sup>

Existen algunos desinfectantes que sólo son efectivos para eliminar determinado patógeno, por lo que al seleccionar el desinfectante, se debe tomar esto en cuenta. Como se mencionó anteriormente, los patógenos que producen las peores consecuencias en la salud de los humanos son las bacterias, los virus y los quistes de amebas. Cualquiera de estos grupos representa el objetivo a eliminar.

El agua para consumo humano se desinfecta por dos motivos primordiales; primero, se desea destruir los agentes infectantes contenidos en el agua para evitar la transmisión de enfermedades, y segundo, se desea evitar cualquier esparcimiento de infecciones a través del agua que se bebe.<sup>46</sup>

---

45

La desinfección del agua es diferente a la esterilización, método por el cual se destruyen todos los organismos que contiene.

46

Para la elaboración del presente trabajo se solicitó al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social una lista de enfermedades hídricas para Guatemala. Lamentablemente, ésta (si existe) no se pudo obtener. Sin embargo, de acuerdo a Fair, Geyer & Okun, las enfermedades hídricas comunes son: la fiebre tifoidea, el cólera la paratifoidea (salmonelosis), la disentería bacilar (shingelosis) , la tularemia y la diarrea hemorrágica; de ellas, sólo la tifoidea y el cólera son devastadoramente mortales. Fair, Geyer & Okun, **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**, p. 15

Las variables controlables en la operación de desinfección son: “1) la naturaleza y concentración del desinfectante, 2) el grado de agitación al que se sujete el agua, 3) el tiempo asegurado de contacto entre los organismos y el desinfectante.”<sup>47</sup>

### 3.2. Tipos de desinfectantes

Una clasificación sencilla separa los medios físicos de los medios químicos. Los principales medios de desinfección de agua empleados para potabilización son: “1) agentes químicos, 2) agentes físicos, 3) medios mecánicos, 4) radiación”<sup>48</sup> Entre los agentes químicos más comunes están los haluros, dentro de los cuales destaca el cloro, por su amplio uso a nivel mundial; el principal agente físico empleado es el calor; los medios mecánicos están constituidos por procesos individualizados de tratamiento, y la radiación, generalmente se emplea en forma de radiación electromagnética.

La desinfección del agua se lleva a cabo especialmente de tres formas: 1) cloración 2) radiación ultravioleta (desinfección UV), 3) tratamiento con ozono (ozonización).

---

<sup>47</sup>

Fair, Geyer & Okun. **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales** (México: Editorial Limusa, 1993) p. 410

<sup>48</sup>

Crites & Tchobanoglous. **Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados** (Colombia: Editorial McGraw Hill, 2000) p. 840

Cada método tiene sus características y forma de aplicación, pero en términos generales, todos desinfectan el agua eliminando de ella tres clases principales de organismos. Estos son: bacterias, parásitos eucarióticos y virus; considerados los tres principales agentes infecciosos que se encuentran en el vital líquido.

La forma en que los desinfectantes actúan, depende de varios factores, de los cuales varios autores destacan los siguientes: el grado de agitación, el tiempo de contacto, la concentración del agente químico empleado, la intensidad y naturaleza de los agentes físicos, la temperatura del agua, el tipo de organismos, así como las características del agua residual.

La turbidez del agua afecta la desinfección, ya que la materia suspendida puede servir de protección a los microorganismos, al cubrirlos o al competir asimilando el agente desinfectante. En el caso del empleo de radiación, la materia que absorbe luz interfiere en la absorción por parte de bacterias.

Respecto al número de organismos presentes, “generalmente la concentración de los organismos pierde importancia, a menos que sea tan elevada que la oxidación de la materia celular constituyente compita con el desinfectante.”<sup>49</sup> Sin embargo, la naturaleza de los mismos si es importante cuando se va a elegir un desinfectante, ya que cada organismo tiene resistencia variable a los diferentes agentes desinfectantes.

---

49

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p.409



El tiempo de contacto entre el desinfectante y los agentes patógenos es importante ya que cada desinfectante requiere de un lapso mínimo para eliminar cada tipo de microorganismo. Respecto a este factor se dice que “a mayor tiempo, más amplia es la oportunidad para la destrucción.”<sup>50</sup>

La temperatura del agua es una condición que influye en la cinética de desinfección.<sup>51</sup> En el empleo de agentes químicos, la reactividad del desinfectante y la constante de ionización son los factores dependientes de la temperatura. A mayores temperaturas, más rápida es la desinfección.

El tiempo de contacto, la concentración del desinfectante y la temperatura del agua son los tres elementos que rigen la rapidez de desinfección. La cinética de desinfección química está regida por la ley de Chick, que establece que el número de organismos destruidos en la unidad de tiempo, es proporcional al número de organismos remanentes.<sup>52</sup>

---

50

Ibidem. p. 410

51

En la cinética de desinfección, los efectos de la temperatura siguen la ley de van't Hoff. Para más detalles ver Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p. 414

52

Harriet Chick, *Investigation of the laws of disinfection*, citado por Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p.411

Teniendo en cuenta estos factores, los desinfectantes pueden eliminar los agentes infecciosos actuando de una o más de las siguientes maneras: 1) dañar las paredes de las células, 2) alterar la permeabilidad de las células, 3) alterar la naturaleza coloidal del protoplasma, 4) inhibición de la actividad de las enzimas, y 5) dañar el ADN y ARN de la célula.<sup>53</sup> Cuando se trata del uso de agentes químicos, se ha determinado que “la desinfección química procede teóricamente en dos etapas: 1) penetración de la pared de la célula, y 2) reacción con las enzimas celulares.”<sup>54</sup>

El desinfectante ideal debe cumplir con varios requisitos, entre los cuales están: 1) ser económico; ya que el método físico o químico empleado debe estar disponible en cantidad suficiente u operar, según el caso, a un costo accesible y justificable. 2) El factor de seguridad; el manejo de sustancias, así como la operación del procedimiento de desinfección debe estar libre de riesgos para la población circundante y para el operario o encargado, y por ningún motivo puede ser tóxico o representar algún riesgo para animales y seres humanos. 3) La no interacción con otros componentes; tanto los orgánicos contenidos en el agua, así como con la tubería o tanques que la contienen. 4) Estabilidad; ya que debe formar soluciones homogéneas que no pierdan la acción germicida. 5) Tener características germicidas selectivas, que ataquen solamente a los tres tipos de organismos patógenos que representan riesgos para la salud.

---

53

Para detalles de los diversos mecanismos de desinfección, ver Crites & Tchobanoglous, *Ob. Cit.* p. 841

54

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p.409

La concentración de los desinfectantes se determina a través de medios físicos o químicos. Por otra parte, la eficiencia de los desinfectantes sólo se puede determinar observando muestras que contengan contaminantes, antes y después de agregar el desinfectante. La reducción de los organismos contaminantes, (generalmente del grupo coliforme, que son los indicadores más comunes) determinará en que porcentaje es eficaz el desinfectante empleado, y en último caso, si es que lo es.

### **3.2.1. Calor**

Este método es bastante efectivo para eliminar los principales agentes patógenos contenidos en el agua. Consiste en agregar suficiente calor al agua para llevarla a ebullición. Para que la desinfección sea efectiva, debe considerarse un tiempo aproximado de veinte minutos. Durante este lapso se destruyen las principales bacterias contenidas en el agua, más no las esporas termoresistentes. Este método es muy efectivo pero su uso no es generalizado debido a que su principal desventaja es el elevado costo. Sin embargo, en casos de emergencias o desastres naturales, es el método de desinfección recomendado por el período que dure la mitigación de las consecuencias del desastre.

### 3.2.2. Radiación

Este método de desinfección puede llevarse a cabo de dos maneras; de forma natural, a través de la luz solar y por medio de una lámpara de rayos ultravioleta. En ambos casos se debe tener presente que la eliminación de patógenos se lleva a cabo dependiendo de la intensidad y el tiempo de exposición. La longitud de onda que tiene propiedades desinfectantes es de  $2,537 \text{ \AA} (10^{-8} \text{ cm})$ <sup>55</sup>.

Existen diversos tipos de lámparas para rayos UV, sin embargo, se ha comprobado que las lámparas más eficientes para la desinfección son las lámparas de presión media y alta intensidad, que “generan aproximadamente 15 a 20 veces más la intensidad germicida UV que las lámparas de baja presión y baja intensidad.”<sup>56</sup>

---

55

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p.406

56

Crites y Tchobanoglous, *Op. Cit.*, p. 860

Este método es bastante efectivo para la eliminación de agentes patógenos; de hecho, “es efectiva en la destrucción de todos los tipos de bacterias y de virus...”<sup>57</sup> La utilización germicida de los rayos UV se debe a que, en los sistemas de baja presión, la radiación “penetra la pared de las células de los microorganismos y es absorbida por los materiales celulares incluyendo el ADN y el ARN, lo cual previene que ocurra la replicación o causa la muerte de la célula.”<sup>58</sup>

Una ventaja muy significativa de emplear radiación ultravioleta es que con la aplicación de este método hasta la fecha no se conocen impactos negativos en el ambiente. Tampoco se forman subproductos al estar el agente desinfectante en contacto con el agua.

Una gran desventaja para su aplicación es que el agua a tratar debe estar libre de partículas que absorban luz, ya que los rayos no pueden alcanzar las bacterias en aguas turbias. Las partículas sirven de escudo a las bacterias y no permiten la penetración de los rayos ultravioleta. Esto puede arreglarse pasando el agua por una etapa previa de tratamiento, en la cual se reduzca la cantidad de partículas sólidas en suspensión.

---

57

Mc Ghee, Terence. **Abastecimiento de agua y alcantarillado**. (Colombia: Editorial Mc Graw Hill, 1999 ) p. 236

58

Ibidem, p. 863

En el caso de la radiación solar, el tiempo para lograr la eliminación de las bacterias suele ser mucho mayor que con el uso de otros desinfectantes. En cambio, el tiempo de contacto necesario con el uso de lámparas es mucho más corto que el requerido con otros desinfectantes.<sup>59</sup> Otra desventaja de su uso es que tampoco tiene acción residual, por lo que al salir de la unidad de desinfección no se puede certificar que esté libre de agentes patógenos.

En cuanto a su costo, la opción natural, aprovechando la luz solar, no representa mayor inversión. En cuanto al empleo de luz ultravioleta, se deben tomar en cuenta los costos iniciales del equipo, así como el reemplazo periódico del bulbo.

### **3.2.3. Productos químicos**

Antes de seleccionar un desinfectante químico, se debe tomar en cuenta el tiempo de retención y la concentración requerida para lograr la desinfección. Entre los principales productos químicos empleados para desinfectar el agua están: agentes oxidantes, iones metálicos, ácidos, álcalis y detergentes.<sup>60</sup>

---

<sup>59</sup>

De acuerdo a McGhee, para el uso de radiación ultravioleta, “los tiempos de retención mínima están en el orden de los 15 segundos con películas de agua menores a un grosor de 120 mm.” *Ob. Cit.* p. 236

<sup>60</sup>

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p. 407 y 408

Entre los agentes oxidantes comúnmente empleados para desinfectar agua, se encuentra el ozono (O<sub>3</sub>). Este compuesto es un agente desinfectante al que frecuentemente se le da uso residencial. Su propiedad desinfectante se debe a que por ser altamente oxidante, desintegra las paredes de la célula. Además de las propiedades desinfectantes, tiene capacidad desodorante y decolorante.

Entre sus principales desventajas se tiene que a determinada concentración, es una sustancia tóxica, altamente corrosiva. También hay que considerar que por debajo de cierta concentración crítica, su efectividad desinfectante es nula, mientras que arriba de esta concentración, su efectividad es total.<sup>61</sup>

Además, se trata de un compuesto químicamente inestable, que se descompone en oxígeno rápidamente. “Como resultado, el ozono debe ser generado en el sitio, o cerca del punto donde se va a usar”<sup>62</sup> lo cual puede resultar un inconveniente. A la vez, es por ello que comercialmente se ha popularizado el uso de ozonificadores para desinfectar agua en casas particulares. Otra desventaja es que no hay forma inmediata de verificar si la desinfección fue exitosa, ya que no hay efecto residual.

---

61

Para la desinfección de *Escherichia Coli*, el valor crítico de la concentración de ozono resulta ser 0.42 ppm. Ibidem, p. 416

62

Crites y Tchobanoglous, *Ob. Cit.*, p. 876

El cloro es el agente químico empleado para desinfección por excelencia. La comparación entre los costos de operación entre el uso de este agente y cualquier otro medio de desinfección determinan principalmente la selección. Este compuesto puede emplearse en forma gaseosa, líquida o sólida (en forma de hipoclorito de sodio o de calcio). Sin embargo, hay que tomar en cuenta que cada una de estas formas tiene un poder desinfectante diferente. Por ejemplo, “la eficiencia germicida del HOCL {ácido hipocloroso} es significativamente mayor (hasta 100 veces) que la del OCL {hipoclorito}”<sup>63</sup> Aquí es donde juega un papel principal el tiempo de contacto, ya que con el tiempo de contacto adecuado, se puede lograr la desinfección en el mismo grado empleando cualquiera de los compuestos del cloro.

El pH es un factor determinante en la desinfección con cloro, ya que “a un pH de 7.0, aproximadamente el 80 % del cloro desinfectante se encuentra como HOCl ...(y) a pH de 10.7 casi 100 % del cloro desinfectante se encuentra presente como ion OCl-”<sup>64</sup>

Otras de las ventajas del uso del cloro es que tiene acción desodorante, tiene alta capacidad de penetración en las superficies y es muy estable, es decir, no pierde fácilmente la acción germicida. Además, posee acción residual y es detectable fácilmente por pruebas colorimétricas.

---

63

Ibidem, p. 847

64

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p. 422



La principal desventaja del uso de este compuesto consiste en que al combinar el cloro con ciertas sustancias<sup>65</sup> se forman trihalometanos – THM-, que son compuestos cancerígenos. Para evitar esto, se ha fomentado el uso de cloro combinado, o cloraminas, debido a la menor reactividad de estos compuestos y a disminución por ende, de la probabilidad de formación de los THM. Algunas legislaciones prohíben el uso de cloro.

Otra desventaja consiste en que el cloro, aunque es totalmente efectivo contra las bacterias, tiene poco efecto sobre quistes y protozoos.<sup>66</sup> Por esta razón, se deben realizar análisis previos para determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua.

---

<sup>65</sup>

“El principal sustrato para la formación de trihalometanos son los ácidos húmicos y fúlvicos, que contienen estructuras fenólicas.” García Gómez, Hermenegildo. 4 de septiembre de 2003.

[http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad\\_y\\_consumo/2003/09/04/8143.php](http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2003/09/04/8143.php). Mayo 2006.

<sup>66</sup>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_purification](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_purification). Julio 2005.



## 4. PLAN DE SEGURIDAD PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

El plan de seguridad es un concepto que ha desarrollado la Organización Mundial de la Salud<sup>67</sup> como medida de control para la seguridad del agua en sistemas de distribución de agua potable. El objetivo de seguridad se logra a través de enfatizar el control no sólo analítico del agua, sino sobretodo, de los procesos y las acciones que involucran todas las etapas del sistema de distribución. Esto último se logra implementando un método preventivo más que correctivo. El plan de seguridad implica una mejora en la calidad del agua que se distribuye, a través de la identificación clara de fuentes de contaminación antes que éstas ingresen al sistema.

El manejo seguro de un sistema de agua potable depende de la elaboración adecuada de un plan de seguridad. Éste último debe desarrollarse para cada sistema de forma individual, sin embargo la Organización Mundial de la Salud ha establecido principios generales, que son aplicables a cualquier sistema.

---

<sup>67</sup>

Más información al respecto se encuentra en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq0506.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf)

El objetivo principal de la elaboración de un plan de seguridad es asegurar que, desde las fuentes primarias hasta la distribución final al usuario, la contaminación del agua sea mínima. Esto implica la disminución de contaminantes durante la etapa de tratamiento, así como la prevención de contaminación durante las etapas de almacenamiento y distribución.

El cumplimiento de este objetivo se logra a través del conocimiento pleno del sistema, de la identificación clara de los posibles focos de contaminación y de la implementación de un sistema constante de monitoreo y control de calidad que permitan tomar las acciones de correctivas oportunamente. La verificación del cumplimiento de este objetivo se conoce como validación. Ésta determina que el sistema de seguridad implementado es efectivo.

Los componentes principales de un plan de seguridad para un sistema de agua potable son tres:<sup>68</sup> 1) evaluación del sistema; es útil para determinar si el sistema completo distribuye agua que cumple con los requisitos de calidad regulados. 2) Identificación de las medidas de control; tiene por objeto mantener bajo observación los riesgos anteriormente identificados, así como asegurar que los objetivos relacionados con la salud sean alcanzados. 3) planes de manejo: deben contener todas las acciones a tomar tanto durante la operación normal, como en situaciones de contingencia. Este plan debe contener además, un estudio periódico para ampliar o implementar mejoras en el sistema, así como el diseño de programas de apoyo para salvaguardar la seguridad del sistema.

---

68

De conformidad con lo establecido por *World Health Organization. Ob. Cit. p. 49*

Los componentes del plan de seguridad se obtienen a partir de la toma de varias acciones. Primero se debe obtener con detalle toda la información de cada etapa del sistema. Con base en ésta y en visitas *in situ*, puede prepararse una evaluación de riesgos, en el cual se debe incluir una caracterización detallada de cada peligro, para identificar y entender cómo entra cada uno de estos riesgos en el sistema. Con esta descripción, se debe elaborar una propuesta de manejo para cada uno de los riesgos identificados, que incluya específicamente medidas de control que reflejen las condiciones reales en el sistema. La siguiente acción está constituida por una etapa de monitoreo, en el cual se da seguimiento a las medidas de mitigación aplicadas. Se debe redefinir cada medida, especificando los límites de aplicación y el rendimiento que tiene al ser aplicada. Por último se deben desarrollar programas de apoyo en los que se involucre a la población.

#### **4.1. Medidas de control**

En los sistemas de agua potable, las medidas de control son acciones a implementar en el sistema que tienen como finalidad reducir o eliminar la contaminación.<sup>69</sup> Entre este tipo de acciones se encuentran las medidas que tienden a disminuir los niveles de contaminación en las fuentes primarias; en las cajas de captación, en el terreno mismo donde se ubican dichas fuentes o en la colocación de filtros. Otras medidas de control pueden ubicarse en la etapa de tratamiento. La instauración de un proceso de desinfección constituye en sí

---

<sup>69</sup>

*World Health Organization. Ob. Cit. p. 26*

una medida de control en el sistema. Aplicadas en conjunto, las medidas de control aseguran el cumplimiento de los objetivos de salubridad del sistema.

La herramienta de control más efectiva es el monitoreo. Este término se refiere a observar detenidamente o realizar mediciones anteriormente planificadas. Para que el control sea efectivo, deben establecerse límites o rangos, de manera que se pueda determinar a tiempo cualquier desviación del comportamiento normal de las características.

La Organización Mundial de la Salud indica que la frecuencia de los monitoreos puede variar con la naturaleza de la medida de control. Ciertas características pueden verificarse anualmente mientras que otras requieren de verificación más frecuente, como en el caso de la turbidez.

Un instrumento útil y certero para el control, lo constituyen los ensayos de verificación de la características fisicoquímicas y microbiológicas del agua. Algunos autores consideran que éstos deben determinarse al menos dos veces al año<sup>70</sup>. En cambio otros autores consideran que “el número de muestras bacteriológicas tomadas en puntos representativos a lo largo del sistema de

---

70

Entre ellos están Crites & Tchobanoglous. Bajo este criterio, la Norma Salvadoreña obligatoria para la calidad del agua potable establece el número de muestras en relación a la población servida. Sin embargo, dicha norma establece como mínimo una muestra al mes.

distribución debe estar en proporción al tamaño de la población expuesta a riesgo.”<sup>71</sup>

#### 4.1.1. Desinfección

La desinfección del agua resulta ser una medida efectiva de mitigar riesgos relacionados con la contaminación microbiológica. Técnicamente, cualquier planta municipal de agua potable debería componerse de al menos tres fases: la sedimentación, la filtración y la desinfección.

La primera etapa consiste en dejar el agua reposar en algún depósito adecuado, con el fin de que las partículas que puedan estar suspendidas en el agua se asienten en la parte inferior del recipiente y puedan ser eliminadas. En esta etapa también es común introducir algún agente floculante, que permite acelerar la precipitación de las partículas.

La segunda etapa, la de filtración, permite eliminar el 99 % de las bacterias.<sup>72</sup> Para ello se hace pasar el agua a través de lechos de arena. Las

---

71

Fair, Geyes Okun. **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales.** *Ob. Cit.* p.30, por lo que para una población de hasta dos mil habitantes se deben tomar como mínimo dos muestras al mes, y para una población servida de hasta diez mil habitantes se deben tomar como mínimo 12 muestras al mes. Esto es para determinar características bacteriológicas.

72

Pelczar, *Ob. Cit.*, p. 683

bacterias de mayor tamaño quedan retenidas en la arena. Al final, el agua debe ser desinfectada para garantizar que sea potable.

Como se mencionó anteriormente, para que las medidas de control sean efectivas, debe contarse con límites o parámetros de referencia. En el caso del sistema de desinfección, pueden establecerse límites de turbidez del agua. Si en algún momento una medición de control de este parámetro sobrepasa el límite fijado en el registro, entonces deben tomarse medidas de corrección en la etapa de floculación, coagulación y sedimentación.

Otro ejemplo puede ser la determinación de un valor de concentración de desinfectante residual libre. Esta concentración excedente de cloro tiene como objetivo garantizar que el agua llegue al usuario libre de contaminantes, eliminando cualquier contaminante que se pueda encontrar en el trayecto desde la desinfección hasta el usuario final. Sin embargo, la protección del sistema no debe recaer en la presencia del residual: “la protección dentro del sistema de distribución no debe depender del mantenimiento de una concentración de desinfectante residual en el abastecimiento de agua, lo cual, sin embargo, se requiere como una medida final de seguridad.”<sup>73</sup>

---

73

McGhee, Terence. **Abastecimiento de agua y alcantarillado**. (Colombia: Editorial Mc Graw Hill, 1999) p. 170



Este límite de desinfectante residual ya está fijado en la teoría como ppm (mg/L). Tomando el cloro como desinfectante, la norma COGUANOR NGO 29001 dice al respecto: límite máximo aceptable – LMA - 0.5 mg/L. El valor aceptable debe tomarse como referencia para los puntos más alejados del sistema de distribución y después de 30 minutos de contacto. Que el valor real esté dentro de este límite asegura la eliminación del 99.99 % de la concentración de virus entéricos. El valor permisible debe aplicarse en casos conocidos de brotes de enfermedades que puedan transmitirse con el agua.

#### 4.1.2. Administración

Como medida de control para esta actividad se debe realizar un estudio económico en el cual se describan con detalle los costos de mantenimiento del sistema actual, incluyendo todos los costos en que se incurra para el monitoreo. Este estudio económico servirá para determinar si el sistema de cobro necesita un reajuste o no. Todos los costos deberán actualizarse al menos una vez al año debido al incremento en los precios.<sup>74</sup>

---

74

Para ello, se puede acudir al Instituto de Fomento Municipal –INFOM- que “presta asesoría técnica y financiera a las municipalidades para que las tarifas por los servicios de agua, sean acordes a la realidad socio económica de las poblaciones” **Informe Guatemala**, versión electrónica.

Otra herramienta útil para controlar el uso racional del agua es la instalación de contadores en las conexiones domiciliarias. La colocación de estos aparatos permitirá realizar un cobro ajustado al consumo de los usuarios. “Conocer el costo sin conocer cuánta agua es producida es de poco valor.”<sup>75</sup> Este sistema de cobro se deberá implementar de forma gradual, y podrá incluir un subsidio para consumidores de bajo nivel y de escasos recursos.

El sistema de cobro debe suministrar una asignación adecuada que cubra los costos reales del servicio. Las tasas deben ser equitativas hasta donde sea posible. La experiencia determina que el cobro de una tasa fija no permite la recaudación mínima que permita cubrir los costos del servicio.<sup>76</sup> El método de cobro comúnmente empleado para los sistemas públicos<sup>77</sup> es el denominado “tasa de línea de vida”<sup>78</sup>, el cual consiste en el pago de una cuota mínima obligatoria a todos los usuarios, a cambio de la cual se recibe un caudal limitado. Este sistema permite asegurar el acceso al vital servicio, aún para las personas de escasos recursos.

---

75

McGhee, Terence. *Ob. Cit.*, p. 563

76

Adaptado de McGhee, p. 562

77

Por sistema público se debe entender un sistema de abastecimiento manejado de forma privada o estatal, que sirva a más de 25 usuarios.

78

McGhee, *Ob. Cit.*, p. 562

Para el cobro por mayor consumo, los cargos “se fija(n) en proporción directa al costo del abastecimiento de agua. Las tarifas se obtienen dividiendo los costos del sistema entre el volumen de agua entregada.”<sup>79</sup> Aunado a la determinación de las tarifas, debe clasificarse a los usuarios según el tipo de gasto y uso que del al agua. Esto permite el cobro proyectado de quienes consuman una cantidad mayor de agua. “Estas tasas pueden incrementarse con el aumento del uso, para desalentar el uso despilfarrador y la generación de altos caudales de agua residual”<sup>80</sup>

## **4.2. Monitoreo**

El monitoreo del sistema debe ser llevado por una autoridad externa. Para darle seguimiento a las condiciones del agua, podrán implementarse auditorías del sistema o controles de calidad que sean llevados a cabo por personas ajenas. Los análisis fisicoquímico y microbiológico deberán realizarse en laboratorio distinto al usual. Las condiciones físicas del sistema se podrán controlar por medio de inspecciones.

---

79

Fair, Geyer & Okun. *Ob. Cit.* p. 510

80

Ibid, p. 563

Los requisitos esenciales con que se debe cumplir en esta fase son tres: 1) debe abarcar la totalidad del sistema, 2) debe ser periódico y 3) al final debe estimar, cualitativa o cuantitativamente, las medidas de control aplicadas.

La inspección, “tiene ahora un doble propósito: no solamente se espera que observe el nivel de cumplimiento, sino que se intenta también que detecte las condiciones de falta de seguridad antes de que se produzcan acontecimientos lesivos.”<sup>81</sup>

---

81

Grimaldi, Simonds. **La seguridad industrial, su administración.** (México: Editorial Alfaomega, 1991) p. 17

### **4.3. Programas de apoyo**

Para integrar el sistema a la comunidad, se deben desarrollar medidas de difusión que comuniquen los beneficios de la implementación de las medidas aplicadas. La educación de los usuarios puede incluir temas como: la contaminación, protección de los recursos naturales, los beneficios de un sistema sanitario de agua potable, desarrollo sostenible, etc.

Es necesario capacitar al personal que maneja el sistema de agua potable. El encargado de operación del sistema de desinfección debe tener conocimientos básicos de seguridad industrial y manejo adecuado del desinfectante que maneje. Asimismo deberá conocer otros componentes del sistema, como floculantes y coagulantes, en el caso que éstos se utilizaren.

El personal encargado del muestreo deberá informarse acerca de las medidas a contemplar en el manejo de las muestras. Deberá coordinar con el laboratorio encargado de la realización de los análisis, para la obtención del material de análisis adecuado. También se deberá conocer acerca del transporte adecuado para dichas muestras.

En los programas de apoyo se deberán contemplar programas coordinados con el sector salud, a manera de mejorar hábitos de higiene en la población. Éstos entrarían en un renglón denominado educación sanitaria, a través del cual se debe educar a la población en general, para fomentar hábitos de salud e higiene.

#### **4.4. Guía para la elaboración del plan de manejo**

En condiciones de operación normal, el sistema debe estar monitoreado en todo momento. Se establecerán detalladamente los puntos de control del sistema y se desarrollará la calendarización correspondiente. La programación de las inspecciones periódicas en el sistema estará a cargo de la administración que lo maneja.

En casos de contingencia, se contará con medidas paliativas temporales. Los casos de emergencia pueden ser, entre otros: contaminación de las fuentes naturales, el esparcimiento epidemiológico de enfermedades en situaciones provocadas por la naturaleza, accidentes de rotura o fisura de la tubería, tanto de conducción como de distribución, infiltraciones en los tanques de almacenamiento, aplicación errónea de producto desinfectante.

Cuando se detecte contaminación en las fuentes naturales, deberá realizarse una inspección in situ inmediatamente. Se determinará la causa principal y se tomarán acciones correctivas adecuadas. Si el perímetro de circulación del área de localización de los manantiales ha sido dañado y ha permitido el ingreso de personas o animales, se reparará de forma inmediata.

En los casos de pandemias, se deberán seguir las instrucciones libradas por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. En caso de que éstas no existan, se deberá tomar como medida urgente, el aumento en la dosis del desinfectante, de manera que se asegure la reducción de agentes patógenos hasta niveles inocuos. En estos casos, se ignorarán cambios en el sabor y olor del agua, los cuales se sacrificarán por la calidad.

Cuando se presenten fisuras en los tanques de almacenamiento, se deberán reparar cuanto antes, pudiendo limitar el uso del contenedor afectado y canalizar el caudal en los otros tanques existentes.

Si se presentare alguna situación en la que se agregue una cantidad errónea de desinfectante, y si ésta fuere mayor a la recomendada, se deberá aplicar algún agente que la disminuya. En el caso que el desinfectante empleado fuere cloro, se podrá remediar la situación por medio de un proceso de dechloración, para el cual se podrá emplear dióxido de azufre.<sup>82</sup>

También como parte de la planificación, se deberá seleccionar un laboratorio especializado para la elaboración de los análisis y reportes requeridos en el sistema. El manejo de las muestras a tomar se regirá por las instrucciones libradas por dicho laboratorio. En caso de resultados que indiquen la presencia de contaminantes en el agua, deberán tomarse las

---

82

Crites y Tchobanoglous, *Ob. Cit.*, p. 854

medidas correctivas inmediatamente y se deberá dar el seguimiento adecuado a la situación.

La compra de equipo de verificación rápida deberá estar contemplada como medio de control inmediato. En la planificación se deberá contemplar la instrucción de los encargados, para que conozcan el uso de los equipos, así como la interpretación correcta de los resultados.

En la planificación también se deberá contemplar la elaboración periódica de informes, que instruyan acerca del funcionamiento del sistema, de los riesgos y de las medidas de control empleadas. Estos informes permitirán conocer en cualquier momento la operación del sistema, para detectar nuevas necesidades y poder contemplar una respuesta adecuada a las mismas en el momento oportuno. Además, los informes permitirán validar las acciones que se llevan a cabo; confirmar las adecuadas y cambiar la dirección de las que no representen beneficio alguno.

Por último, en esta etapa de planificación, se debe contemplar el acercamiento con las autoridades correspondientes. Conviene contactar a los sectores salud y educación para coordinar actividades. Para ello, se debe nombrar una comisión de la asociación que administra el sistema para que esté en contacto permanente con las autoridades municipales.



## **5. MUNICIPIO DE PACHALÚM, QUICHÉ**

### **5.1. Aspectos generales**

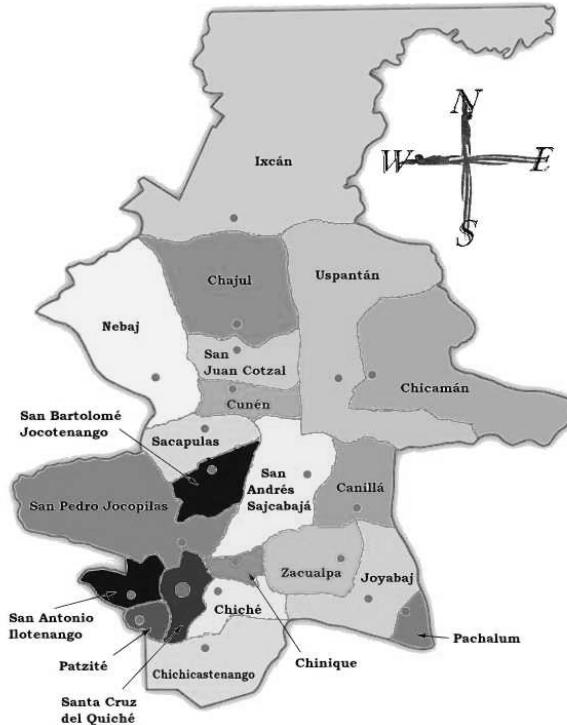
Pachalúm es el Municipio más reciente del departamento de Quiché. De aldea del Municipio de Joyabaj, fue elevado, por medio del Acuerdo Gubernativo 377-86, a categoría de Municipio el 8 de julio de 1,986. El territorio de este Municipio abarca 100 kilómetros cuadrados<sup>83</sup>. Como se observa en la figura 1, Pachalúm colinda al Norte con el Municipio de Cubulco, Baja Verapaz, al Oriente con Granados, Baja Verapaz, al Sur con San Martín Jilotepeque, Chimaltenango y al Occidente con Joyabaj, El Quiché.

---

<sup>83</sup>

Un kilómetro (km) equivale a 1000 metros (m)

**Figura 1. Ubicación del Municipio de Pachalúm en el departamento de Quiché**



**Fuente: Municipalidad de Pachalúm, Plan estratégico participativo, versión electrónica, p. 31**

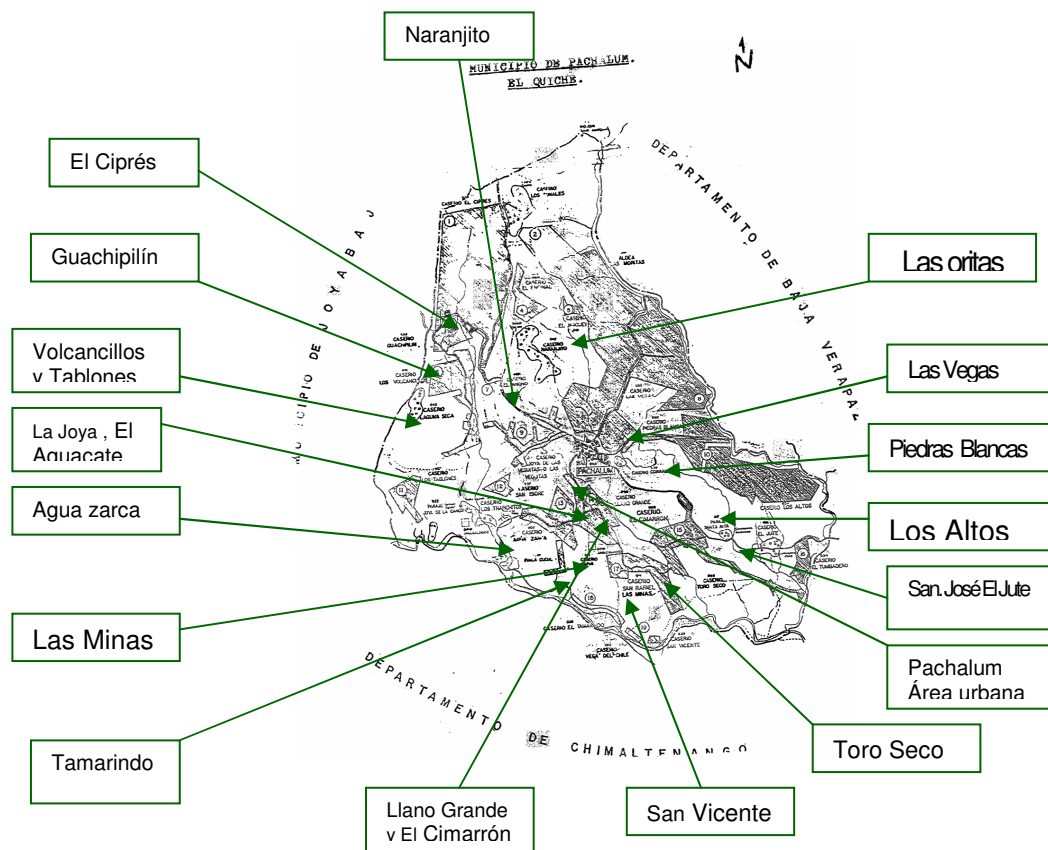
El Municipio “se localiza en la parte alta de la cuenca del Río Motagua”<sup>84</sup> y está integrado por un pueblo, 9 aldeas y 11 caseríos. En la figura 2 puede observarse la división territorial del Municipio. La cabecera municipal se encuentra a 1170 metros sobre nivel del mar.

---

84

Instituto Geográfico Nacional, Mapa de cuencas de la República de Guatemala, Escala 1:50,000, citado por Marvin Valdez Morataya, **Informe general de servicios del ejercicio profesional supervisado**. (Guatemala, s.e., 2001) p. 3

**Figura 2. División territorial del Municipio de Pachalúm**



**Fuente:** Municipalidad de Pachalúm, Plan estratégico participativo, versión electrónica, p. 36

Pachalúm “significa "en el lugar de los chalumes" y procede de los vocablos k'iche's: Pa = prefijo locativo y chalum = cuxin, árbol de fruto parecido a la paterna, también conocido como cujinal o cuje y que abunda en los alrededores de esta población.”<sup>85</sup> Otra acepción indica que el término tiene su origen en las palabras “PACHA PACHECA que significa esgrima, y CHALUM, que es el nombre del árbol bajo cuya sombra se practicaba ese deporte.”<sup>86</sup>

La feria titular se celebra en honor a Todos los Santos de la iglesia Católica, y la fecha de ésta es del 27 de octubre al 2 de noviembre.

Las principales actividades económicas están representadas por la agricultura, la ganadería y el comercio local. En cuanto al aspecto agrícola, la población se dedica principalmente “al cultivo del maíz, frijol, sorgo o maicillo, zacate para ganado, caña de azúcar, café y variedad de hortalizas y frutas propias del clima durante todo el año”. El tomate también constituye uno de los cultivos principales. Para ello cuenta con una “red de mini-riego que abarca 150 manzanas<sup>87</sup> y recorre cerca de 50 Kms. (kilómetros) de extensión”<sup>88</sup>

---

85

Jorge Luis Arriola, **Libro de Geonimias de Guatemala**. Citado por <http://www.elquiche.com/pachalum.htm>

86

Municipalidad de Pachalúm. **Plan estratégico participativo**. (Guatemala, versión electrónica, 2003)

87

Una manzana equivale a 6,802.72 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) ; un kilómetro (km) equivale a 1000 metros (m)

El Municipio ha tenido un auge económico significativo, y parte de ello se debe al rubro importante que constituyen las remesas provenientes de los emigrantes a los Estados Unidos de Norteamérica (“un promedio de 150,000.00 dólares mensuales”).<sup>89</sup>

Con relación a la participación ciudadana, y a la vigencia del Decreto 11-2002, Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, la Municipalidad conformó en el Municipio nueve Consejos Comunitarios de Desarrollo. Además cuenta con una Asociación Civil en el Caserío Toro Seco.<sup>90</sup>

## 5.2. Perfil topográfico

El perfil topográfico permite conocer la consistencia del terreno analizado. Para el caso de Pachalúm, “el territorio de este Municipio pertenece a las tierras

---

88

José Aguilar Reynoso. **Portal web de los quichelenses.**  
<http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.

89

Municipalidad de Pachalúm. **Plan estratégico participativo.** (Guatemala, versión electrónica, 2003)

90

<http://www.pachalum.com/noticia05.html>. Octubre 2005

altas cristalinas, con montañas bajas y colinas fuertemente escarpadas, se encuentra ubicado dentro del sistema de montañas de la Sierra de Chuacús”<sup>91</sup>

Además, por medio del perfil topográfico se puede conocer la estructura interna del suelo. Dicho conocimiento permite recabar información para el caso de excavaciones, o en el caso del tema que nos atañe, información acerca de la localización del agua en el suelo.

En Pachalum, “el suelo superficial a una profundidad de 2 centímetros<sup>92</sup> es franco arenoso, fino gravoso, suelto de color café a café amarillento que tiene una cantidad moderada de materia orgánica, la grava consiste en fragmentos de esquisto y cuarzo, ... pH medio de 4.5 a 5.0. El suelo superficial a una profundidad de 10 centímetros es franco arenoso gravoso a franco arcilloso-arenoso, friable de color café grisáceo o café rojizo. El subsuelo a una profundidad de 30 a 40 centímetros es franco arcilloso gravoso de color café a café rojizo. El sustrato de esquisto suave varía en el grado de intemperización y en el contenido de mica”<sup>93</sup>

---

91

<http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.

92

Un centímetro (cm) equivale a 0.01 metros (m)

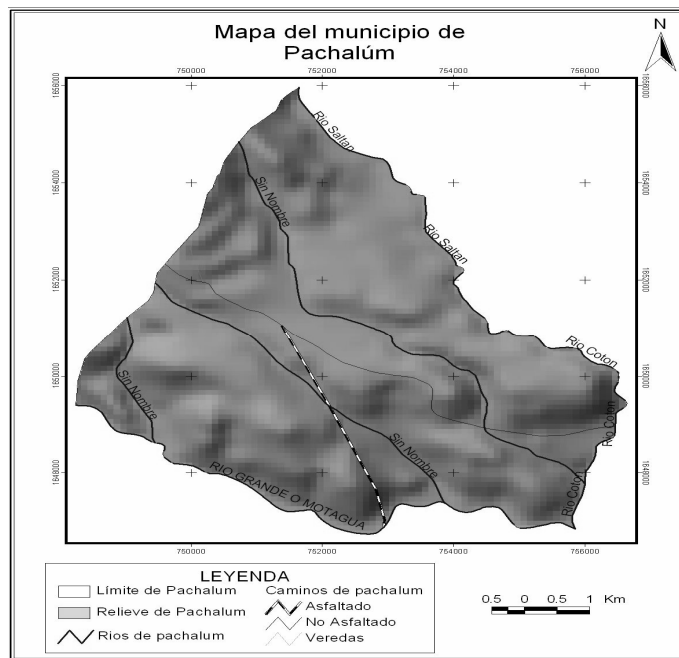
93

Marvin Valdez. *Ob. Cit.* p. 6

### 5.3. Mapa cartográfico

Como se observa en la figura 3, la localización del Municipio se puede observar en la hoja cartográfica Granados No. 2060, escala 1:50,000, de donde se lee la ubicación en las siguientes coordenadas geográficas: latitud norte, 14°53'11" a 14°58'57" y latitud oeste 90°36'52" a 90°42'33"<sup>94</sup>

**Figura 3. Mapa cartográfico del Municipio de Pachalúm, Quiché**



**Fuente: Instituto Geográfico Nacional -IGN -, Mapa cartográfico de la República de Guatemala, Hoja Granados 2060 a escala 1:50,000**

94

Instituto Geográfico Nacional – IGN- **Mapa cartográfico de la República de Guatemala**, (Guatemala: 1975) Hoja Granados 2060 a escala 1:50,000

## 5.4. Condiciones climatológicas

No se tiene datos certeros acerca de las variables climáticas debido a que el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH – no cuenta con una estación climatológica en el Municipio. Son cuatro las estaciones climatológicas cercanas al Municipio; la estación meteorológica más cercana es la de San Martín Jilotepeque, departamento de Chimaltenango. Sin embargo, esta ciudad se encuentra ubicada más al sur y a diferente altitud. La estación ubicada en Cubulco, Alta Verapaz, está ubicada más al norte, mientras que la estación de Chinique, en el mismo departamento de Quiché, se ubica más hacia el occidente. Otra referencia cercana resulta ser la estación ubicada en Guatemala, aproximadamente a 82 kilómetros del Municipio. Ninguna de las estaciones referidas se encuentra a la misma altitud.

El territorio esta cubierto por dos unidades bioclimáticas; “bosque seco subtropical, con temperatura promedio entre 19 y 24 grados centígrados y bosque húmedo subtropical templado, con temperatura promedio entre 20 y 26 grados centígrados.”<sup>95</sup>

---

95

Marvin Valdez. *Ob. Cit.* p. 3



## 5.5. Condiciones Sanitarias

### 5.5.1. Centros de salud

El Municipio cuenta con dos centros de salud que prestan servicios médicos básicos. Dichos centros se encuentran ubicados a una distancia menor a dos kilómetros de la plaza central.

### 5.5.2. Agua potable

En el área urbana, la población cuenta con el servicio de agua potable entubada, la cual se abastece de nacimientos en la superficie de un cerro cercano. El sistema de distribución domiciliar con caudal conducido por tomas de agua fue introducido a la ciudad en 1920.<sup>96</sup> Aproximadamente el 83 % de los hogares recibe el vital líquido de la red municipal, el 11 % cuenta con pozo propio, mientras el 3 % se abastece de ríos o manantiales.<sup>97</sup>

---

<sup>96</sup>

Municipalidad de Pachalúm. **Plan estratégico participativo.** (Guatemala, versión electrónica, 2003)

<sup>97</sup>

Basado en los estadísticos del Instituto Nacional de Estadística –INE-. **Censos 2002: XI de Población y VI de Habitación.**

### **5.5.3. Alcantarillado**

En el área urbana el 95% de la población cuenta con servicio de drenajes. El sistema fue construido en el año 1,995, sin embargo, en el diseño no se contempló una planta de tratamiento para aguas negras. Con el sistema de drenajes actual, las aguas negras desembocan en la quebrada Pachalúm. Esto ha ocasionado contaminación en fuentes naturales de abastecimiento de agua para los habitantes que ocupan áreas cercanas a dicha quebrada.

En el año 2,001 se propuso una iniciativa para crear una planta de tratamiento de aguas negras. El proyecto está en marcha desde entonces, pero no ha logrado concretarse. La fase de planificación está concluida y de esa cuenta se tiene ya un diseño y el conjunto de planos y especificaciones. La falta de financiamiento para la construcción de la planta es lo que ha impedido que se lleve a cabo.

El proyecto, con vida útil esperada de 15 años, consiste en la colocación de tubería para alcantarillado, la captación y recolección de aguas servidas de 610 viviendas. Las aguas negras serán conducidas a una fosa séptica y de allí pasarán por filtros de piedra. Después de este recorrido, el agua será integrada a la quebrada Pachalúm.

La ubicación de la instalación se tiene prevista “en un área despoblada a 1 Km (kilómetro) de distancia de la cabecera municipal”<sup>98</sup>.

#### **5.5.4. Otros servicios**

Siempre dentro del área urbana del Municipio, la población cuenta con el servicio de energía eléctrica, cuya cobertura abarca el 95 % de la población. Dicho servicio es prestado por la empresa privada Deocsa.

En fechas recientes, la red de energía eléctrica del Municipio se ha interconectado a través de una subestación eléctrica en la Aldea Vega de Godínez, Municipio de San Martín Jilotepeque, departamento de Chimaltenango, a la línea de transmisión eléctrica de la empresa Unión FENOSA.<sup>99</sup>

Además, los habitantes de Pachalúm cuentan con servicio de extracción de desechos sólidos, servicio que es prestado por una empresa privada, la cual tiene el contrato desde hace más dos años.

---

<sup>98</sup>

Proyecto de construcción de planta de tratamiento para aguas negras, Municipalidad de Pachalúm, Quiché. Especificaciones técnicas.

<sup>99</sup>

<http://www.pachalum.com/noticia05.html>. Febrero 2006.

## 5.6. Ordenamiento Urbano

Antonio Carceller define el Plan urbanístico del siguiente modo: “el plan urbanístico es, en un sentido amplio, un acto del poder público que ordena el territorio, estableciendo previsiones sobre el emplazamiento de los centros de producción y de residencias, regula la ordenación y utilización del suelo urbano para su destino público o privado y al hacerlo define el contenido del derecho de propiedad y programa el desarrollo de la gestión urbanística”.<sup>100</sup>

Desde este punto de vista del ordenamiento urbano puede realizarse una descripción del Municipio. Con las visitas realizadas y con el apoyo del mapa cartográfico del área urbana del Municipio, que se puede observar en la figura 4, se ha determinado que el casco urbano de la ciudad se encuentra bastante planificado. El tipo de ordenamiento encaja en lo que se denomina *ordenamiento en ajedrez*, en el cual las calles están establecidas en forma ordenada cuadrículada. El área de vivienda urbana está claramente definida, aunque una zona industrial *per se*, no existe.

---

100

Antonio Carceller Fernández. **La Ley de Urbanismo de Cataluña**. Revista de derecho urbanístico y medio ambiente. (España: Número 205 octubre-noviembre 2003)

**Figura 4. Plano de distribución del área urbana del Municipio de Pachalúm, Quiché**



**Fuente: Instituto Nacional de Estadística – INE-, Mapa cartográfico del área urbana de Pachalúm (21), Quiché (14), escala 1:2,000**

En cuanto a la infraestructura, se observa que son construcciones relativamente nuevas. Aunque aún existen casas de adobe, predominan construcciones de block. “Una característica muy singular es que su iglesia católica se encuentra a 500 metros del centro de la población, en la cima de un pequeño cerro.”<sup>101</sup>

---

101

José Aguilar Reynoso. Portal web de los quichelenses. <http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.

El área urbana no cuenta con un cinturón verde, pero la ciudad se encuentra rodeada de bosques en planicies y montañas circundantes. Áreas verdes dentro del casco urbano también son inexistentes. La Municipalidad tiene contemplado iniciar un parque acuático recreativo para el casco urbano en el año 2007, así como varios parques infantiles.<sup>102</sup>

Los servicios están distribuidos en toda la ciudad. De esta manera, los centros de salud, así como las escuelas, se encuentran en diversos sectores de la ciudad cubriendo partes diferentes de la población. Los tanques de agua potable también se encuentran distribuidos.

El mercado de la ciudad cuenta con un local exclusivo para su uso. Éste se encuentra frente a la plaza central, frente a las instalaciones donde se ubica la Municipalidad. Además, éste cuenta con parqueo propio para no bloquear calles aledañas a la hora de carga y descarga de productos.

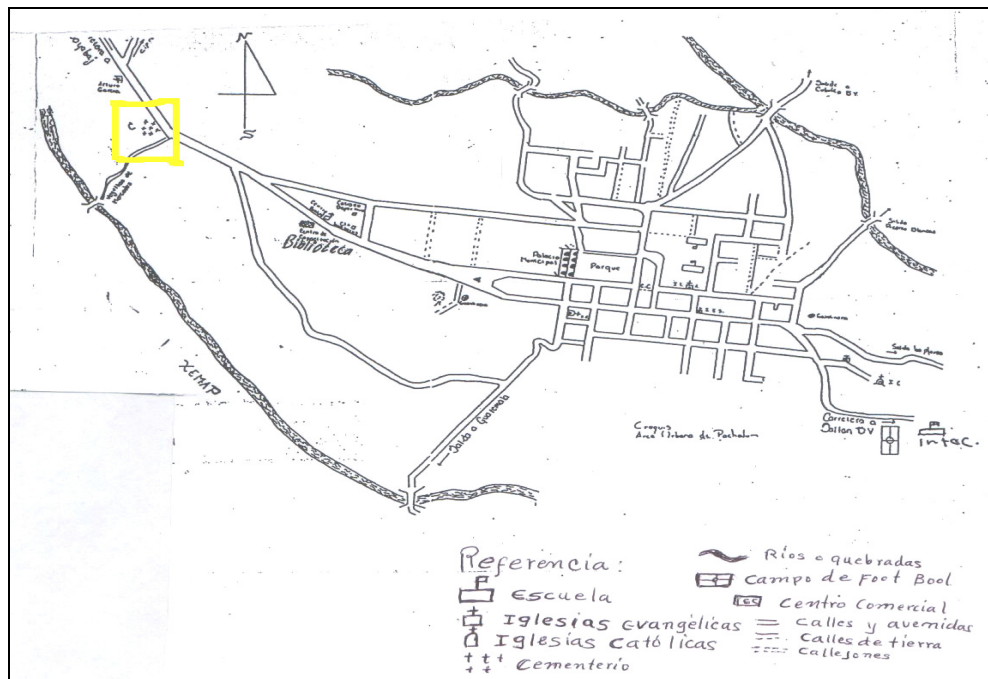
El cementerio de la localidad se encuentra en las afueras de la ciudad, en dirección oeste, a la orilla de la carretera que conduce hacia Joyabaj. El espacio que ocupa está específicamente destinado para su uso. Esto se observa en la figura 5.

---

102

De acuerdo al Plan estratégico Participativo de la Municipalidad de Pachalúm, año 2003.

**Figura 5. Esquema del área urbana del Municipio de Pachalúm, Quiché**



**Fuente: Municipalidad de Pachalúm, Plan estratégico participativo, versión electrónica**

Se observó que el crecimiento de la población no sigue el patrón ordenado que tenía en un principio la ciudad. Los asentamientos humanos que se han adherido a la ciudad, han modificado la sistematización de calles que ésta tenía.

## 5.7. Índices demográficos

### 5.7.1. Población

De acuerdo al XI Censo de Población y VI de Habitación realizado por el Instituto Nacional de Estadística – INE- , la población total del Municipio es de 7,037 habitantes, de los cuales 3,371 son hombres y 3,666 son mujeres; 2,042 son del área urbana mientras que 4,995 son del área rural<sup>103</sup> y el 41.8% de la población se encuentra entre los 18 y los 59 años de edad y apenas el 4.9 % sobrepasa los 65 años. Datos más recientes proporcionados por la municipalidad confirman que la población aproximada es de 10,897 habitantes y la densidad poblacional asciende a 109 habitantes por kilómetro cuadrado.<sup>104</sup>

Según el Instituto Nacional de Estadística, en el censo citado, del total de la población, el 84.8 % es de origen ladino, mientras que el restante 15.2 % es de origen indígena, de la etnia maya casi en su totalidad. Sin embargo, datos departamentales indican que “el 95 % son ladinos y el restante 5% es de una sola comunidad de la etnia cakchiquel, llamada El Ciprés.”<sup>105</sup>

---

103

Instituto Nacional de Estadística –INE-. *Ob. Cit.* p. 72

104

<http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.

105

<http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.



El 87 % de la población mayor de 3 años de edad habla español. Solamente el 12.9 % de la población mayor de 3 años habla quiché.<sup>106</sup>

La población económicamente activa de 7 años de edad o más la constituyen un total de 1,292 personas<sup>107</sup>, de las cuales el 99.4 % está actualmente ocupada.

De 5,610 personas mayores de 7 años, el 70.1 % es alfabeta, y de este porcentaje, el 52 % son mujeres. Entre los alfabetas, solamente el 0.94 % ha realizado estudios superiores, y el 25.7 % ha llegado a finalizar la escuela primaria, mientras que el 31.9 % solamente hizo de primero a tercero primaria.<sup>108</sup>

---

<sup>106</sup>

De un total de 6,442 personas, Instituto Nacional de Estadística –INE-. *Ob. Cit.* p. 80

<sup>107</sup>

Basado en los datos del Instituto Nacional de Estadística –INE-. *Ob. Cit.* p. 112

<sup>108</sup>

Basado en los datos del Instituto Nacional de Estadística –INE-. *Ob. Cit.* p. 96

## **5.8. Abastecimiento de agua**

### **5.8.1. Fuentes de abastecimiento del sistema de agua potable**

Los recursos hídricos con que cuenta el Municipio son variados y van desde fuentes superficiales como ríos y cuencas, hasta fuentes subterráneas. Los ríos que pasan por la periferia del Municipio son: el río Motagua (río Grande), el río Caquil y el río Las Vegas. Dentro del Municipio pasan el río El Anono y las quebradas Grande, Las Minas, Azucenas y Chipilín.

El sistema de agua potable del casco urbano solamente aprovecha el agua proveniente de manantiales ubicados en el cerro Tuncaj.

### **5.8.2. Acceso que tiene la población al agua**

De un total de 1,430 hogares,<sup>109</sup> el 82.4 % tiene un chorro (sic) para uso exclusivo en su lugar de habitación, el 0.14 % comparten uno, y el 0.62 % utiliza chorros comunales (sic) públicos, el 3.3 % aún se abastece de ríos o manantiales, mientras que el 11.0 % se abastece del vital líquido por medio de

---

<sup>109</sup>

*Ibid.* p. 176

un pozo propio. Esto significa que aproximadamente cuatro de cada cinco hogares dependen de la calidad del servicio municipal de abastecimiento de agua potable.



## **6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PACHALÚM, QUICHÉ**

### **6.1. Descripción**

El sistema de agua potable que abastece al casco urbano del Municipio está formado por los siguientes componentes: 1) captación, 2) transporte 3) almacenamiento y 4) distribución.

#### **6.1.1. Captación**

La etapa de captación está compuesta por un sistema de recolección de agua de diversos manantiales. El agua se recolecta en la altura del cerro Tuncaj, una pequeña elevación de tierra con bosque virgen. Los nacimientos se encuentran dentro de un perímetro circulado con malla al cual sólo tienen acceso personas autorizadas por la Asociación de Aguas que maneja el sistema. Alrededor del terreno circulado no se encuentra población alguna.

El agua proveniente de los tanques de captación surge espontáneamente como agua de manantial de distintas fuentes naturales que se encuentran en un área protegida contra la contaminación, ubicada en el cerro Tuncaj. El área donde están los nacimientos se encuentra en la parte superior de la montaña, está rodeada de malla en el perímetro y no existe ninguna comunidad habitando en las cercanías de la cúspide, solamente en la primera parte del trayecto de ascenso.

Aproximadamente once manantiales están interconectados a la tubería principal de conducción. En cada nacimiento existe una caja de captación, especialmente construida para recolectar el agua. A la entrada de cada tubería que conduce el agua hacia la conducción, se ha colocado un filtro de cedazo. Este filtro tiene la función de no permitir el ingreso de contaminantes de gran tamaño al agua, tales como hojas de árboles, ramas o pequeños insectos que sean arrastrados por la corriente. Una vez al mes se hace una limpieza de dichos filtros.

### **6.1.2. Transporte**

El transporte del agua hacia el área urbana se realiza mediante tubería de PVC de cuatro pulgadas<sup>110</sup> de diámetro. El agua se transporta desde la etapa de captación en el cerro Tuncaj hasta la etapa de almacenamiento en la ciudad, aprovechando la caída de presión en la conducción debido a las condiciones geográficas del terreno y al diseño de la instalación.

---

<sup>110</sup>

Una pulgada (in ) equivale a 0.0254 metros (m)

### 6.1.3. Almacenamiento

En el Municipio existen tres tanques de almacenamiento: dos de ellos tienen capacidad para 95 metros cúbicos y el otro para 67 metros cúbicos. Se encuentran ubicados de la siguiente manera: dos contiguos uno de 95 y otro de 67 metros cúbicos (por simplicidad y para efectos del presente trabajo, a este conjunto se le denomina “Tanque 1”). A una distancia de aproximadamente un kilómetro, se ubica el otro tanque de 95 metros cúbicos (Para efectos del presente trabajo, a éste se le denomina “Tanque 2”). Los dos tanques adyacentes, se encuentran conectados a través de un tubo de PVC.

Anteriormente, el tanque con menor capacidad era el único del sistema. Con el crecimiento de la población y el aumento en la demanda de agua potable, se construyó posteriormente una ampliación, que corresponde al tanque de mayor capacidad que se encuentra a la par del de 67 metros cúbicos. Luego, nuevamente fue necesaria la ampliación del sistema, construyéndose un nuevo tanque con capacidad de 95 metros cúbicos en otra ubicación (Tanque 2).<sup>111</sup>

---

111

Miembros de la Asociación de Aguas, Municipalidad de Pachalúm, 15 de noviembre de 2005. Comunicación personal.

Los dos tanques cuenta con entrada de fluido desde la captación; el Tanque 1. Ambos tienen salidas en diferentes direcciones. Actualmente, sólo el Tanque 2 cuenta con una válvula en la tubería de entrada. El Tanque 1 no tiene válvula en la entrada y el agua fluye sin límite. Luego de llegar a su capacidad máxima, el exceso de agua rebalsa por un tubo inserto en el tanque. Este exceso de agua es conducido hacia el entronque de ramales<sup>112</sup>, donde fluye a un sector de la ciudad.

Los tanques están elaborados de concreto reforzado, con diseño rectangular. En uno de los tanques de 95 metros cúbicos, se observaron fisuras en la parte superior, por donde existe filtración de adentro hacia fuera. Éste es el tanque más antiguo que existe en el sistema de distribución.

El terreno donde están ubicados los tanques no cuenta con protección alguna. Al visitar el lugar, en repetidas ocasiones se observó basura y ripio en los alrededores, a pesar que la municipalidad se hace cargo de la limpieza del sitio.

---

112

Un ramal es un sistema de tuberías de distribución, es decir, una red de tubería. En este caso el ramal es una parte del sistema que reparte el agua hacia las conexiones domiciliarias que se encuentran en una sección de la ciudad. El entronque de ramales es la parte de tubería en donde se unen las dos grandes tuberías de distribución que tiene el sistema.



#### **6.1.4. Distribución**

La distribución del agua se hace directamente de los tanques hacia las casas y comercios del Municipio. La tubería en el sistema de distribución es de PVC y se encuentra bajo tierra.

Cada uno de los tanques cuenta con al menos tres salidas; cada una de ellas fluye en diferente dirección. El transporte del líquido en esta etapa se hace sectorizando la ciudad. Existen dos ramales de distribución principales a los cuales se conectan las instalaciones domiciliarias. Cada uno de estos ramales o tubería matriz forma un círculo cerrado para cada ubicación de los tanques. Ambos ramales se interceptan y forman un flujo continuo. Este flujo se alimenta de cuatro fuentes: del agua proveniente de cada uno de los ramales (2) y además, por el flujo de agua que rebalsa de cada tanque.

Una persona encargada por la municipalidad, es quien abre y cierra las válvulas de salida de cada tanque. Cada día, en diferentes horarios y por sectores, abre las válvulas para abastecer a la población del vital líquido.

La etapa de distribución del agua está propensa a la contaminación ya que actualmente el Municipio no cuenta con una planta de tratamiento sanitario para las aguas negras. Aunado a ello, el sistema de drenaje de la ciudad está “técnicamente mal diseñado” y ello resulta en “funcionamiento inadecuado”<sup>113</sup>. Estos factores representan posibles focos de contaminación del agua y ello se ve reflejado en los “altos índices de morbilidad<sup>114</sup> y mortalidad por el consumo de agua contaminada”<sup>115</sup>. Sin embargo, las autoridades municipales manifiestan que constantemente verifican el estado de la tubería de conducción (esta actividad está encargada a una empresa privada que es contratada para dichos trabajos).

Además, en el plan de trabajo de la actual corporación municipal, está contemplado un proyecto de ingreso de drenajes sanitarios a la ciudad, así como la construcción de una planta de tratamiento de aguas negras. Se tiene contemplado desarrollar ambos proyectos dentro del periodo de cinco años.

---

113

Proyecto de construcción de planta de tratamiento para aguas negras, Municipalidad de Pachalúm, Quiché. Identificación de la problemática.

114

Cabe mencionar que según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el **Informe analítico Guatemala 2002**, <http://www.bvssan.incap.org.gt/eswww/eva2000/guatemala/informe/inf-02>. “Guatemala es el país centroamericano con la tasa más alta de episodios de diarrea por 1000 niños menores de 5 años y el país centroamericano con el peor índice de acceso a instalaciones adecuadas para disponer de excretas (1990-1996).”

115

Proyecto de construcción de planta de tratamiento para aguas negras, Municipalidad de Pachalúm, Quiché. Identificación de la problemática.

En cuanto a la desinfección del agua, sobre uno de los tanques subsisten restos de un clorador. Éste fue donado por la agencia GTZ – *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*, - de la cooperación alemana en el país, hace aproximadamente ocho años.

El operador de los tanques indica que al inicio el clorador funcionaba agregando cloro todo el día, sin importar si el tanque estuviera totalmente lleno, a la mitad de su capacidad o vacío. Por los indicios observados, el clorador fue instalado para funcionar en un sistema que opera de forma continua. Sin embargo, debido a la capacidad del sistema, éste opera de forma intermitente, ya que los tanques de almacenamiento no reciben agua todo el día, ni el mismo flujo siempre. Este último depende de la cantidad proveniente de los nacimientos.

La población presentó quejas ya que en ocasiones recibían agua con exceso de cloro. Al no poder solucionar este inconveniente, se tomó la decisión de no echar a andar el clorador. Actualmente sirve como almacenamiento de tabletas de hipoclorito.

A pesar que la población rechaza que cloren el agua, debido al “*sabor a cloro*”, la comisión encargada del manejo de dicho recurso agrega hipoclorito de calcio al agua<sup>116</sup>. El encargado de los tanques disuelve a discreción la cantidad

---

116

Miembros de la Asociación de Aguas, Municipalidad de Pachalúm, 15 de noviembre de 2005. Comunicación personal.

de tabletas de cloro que considera conveniente, según el nivel de agua que observa en el tanque.

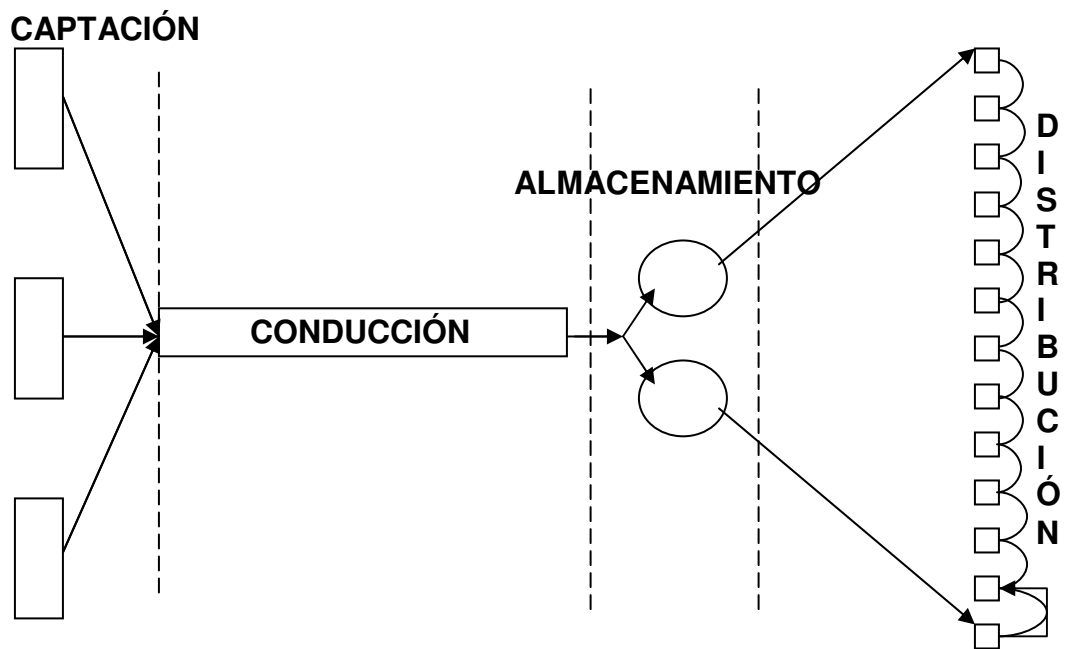
Esta persona maneja las tabletas de cloro sin tomar en cuenta medidas de seguridad. Tampoco utiliza protección alguna; no utiliza guantes, ni se auxilia de mascarilla contra gases al momento de disolver las tabletas. La disolución la hace de forma artesanal: según sus palabras “en una cubeta agrega agua, el hipoclorito y revuelve manualmente con una paleta.” La solución resultante la agrega directamente al tanque.

## **6.2. Evaluación del sistema**

### **6.2.1. Diagrama de flujo del sistema actual de agua potable**

Como primer punto en la evaluación, se ha desarrollado un diagrama de flujo sencillo del sistema de la forma en que opera actualmente. A partir de este esquema podrán localizarse los riesgos identificados, y podrán estudiarse las medidas de control en cada punto. Para evaluar el sistema de agua potable existente, se ha seccionado el mismo en cuatro etapas: la captación, conducción, almacenamiento y distribución.

**Figura 6. Diagrama de flujo simplificado del sistema actual de distribución de agua potable en el Municipio de Pachalúm, Quiché**



**Fuente: Elaboración propia**

La evaluación física de cada fase consiste en una breve descripción del sistema técnico, de la construcción y de las condiciones de salubridad existentes al momento de la estimación. La identificación de los posibles riesgos está incluida en la evaluación.

Por riesgo se entiende: “una función de probabilidad de pérdida (amenaza) y la magnitud de la posibilidad de pérdida (daño).”<sup>117</sup> También se refiere a un “efecto supuesto de un peligro no controlado, apreciado en términos de la probabilidad de que sucederá, la severidad máxima de cualquier lesión o daño, y la sensibilidad del público a tal incidencia.”<sup>118</sup> Mientras, un peligro “es un estado que, con cierta probabilidad, puede causar lesiones, daños a equipamientos o instalaciones, pérdida de material o bienes, o una disminución en la capacidad de realizar una función determinada.”<sup>119</sup>

En cuanto a los peligros identificados, se describen brevemente las posibles fuentes, así como el impacto negativo que tienen en el sistema. Además se trata de explicar cómo entra el riesgo en cuestión al sistema.

---

117

Zandin, Kjell. **Maynard manual del ingeniero industrial, 5ª edición.** (México: Mc Graw Hill, 2005) p. 6.183 (Adaptado por Zandin, de Hammer, W, Occupational Safety Management and Engineering, 4ª Edición, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nj. 1989)

118

Grimaldi, Simonds. **La seguridad industrial, su administración.** (México: Editorial Alfaomega, 1991) p. 221

119

Zandin, Kjell, *Ob. Cit.* p. 6.182

### **6.2.2. Captación**

Desde el punto de vista microbiológico, el mayor riesgo relacionado a la ingestión de agua contaminada se encuentra en la presencia de materia fecal en el agua. Las heces, tanto de animales como de seres humanos, son fuente de bacterias, virus y protozoos. Aunque éste no es el único riesgo, es el que requiere mayor atención. La presencia de este tipo de contaminantes en el agua va en detrimento de la salud de los consumidores, ya que al distribuir agua contaminada se esparcen infecciones intestinales.

El principal riesgo identificado en esta etapa lo constituye la contaminación por heces fecales de pequeños animales que pueden ingresar por el cerco del terreno. Especies de aves y mamíferos de tamaño menor pueden acceder a las fuentes de captación con el fin de beber agua. A su vez, pueden dejar heces dentro del sistema o en las cercanías, con el riesgo subsiguiente de ser arrastradas por la lluvia o de que contaminen las aguas por infiltración en la tierra.

Otros elementos de riesgo establecidos son los materiales ajenos al agua que ingresan al sistema empujados por la corriente o llevados hacia él por el viento. No hay posibilidad de contaminación por agentes químicos debido al uso de fertilizantes ya que la tierra del lugar en cuestión no es empleada por agricultores. Tampoco son fuentes de contaminación las provenientes de seres humanos, ya que no hay poblaciones en la cima de la montaña que puedan arrojar desechos a la parte donde se ubican los manantiales.

### **6.2.3. Conducción**

La actual municipalidad ha decidido renovar el sistema de agua potable del casco urbano. Con una inversión de más de tres millones de quetzales,<sup>120</sup> se implementará un proyecto de renovación del sistema de agua potable actual. La compra del material ya se llevó a cabo, pero los trabajos iniciales de zanjeo se vieron interrumpidos debido al paso del huracán Stan.

### **6.2.4. Almacenamiento**

No se observó desprendimiento en las paredes o techo. Tampoco se observó materia en el fondo de los mismos. De estas observaciones, se determinó que el interior de los tanques está en buenas condiciones.

En esta etapa se han identificado varios riesgos, cuya magnitud requiere atención inmediata. Primero, se detecta que previo a la entrada del agua en los tanques, no existe una etapa de tratamiento del agua. El objetivo primordial de la etapa de tratamiento es la eliminación de estos patógenos microscópicos del agua. Aunque erradicarlos sea imposible, la cantidad presente puede reducirse hasta niveles no nocivos para el consumo humano. El hecho de que

---

120

<http://www.pachalum.com/noticia05.html>. Octubre 2005.



en el sistema no exista una etapa de tratamiento ni de desinfección formal es preocupante.

Otro riesgo identificado es la posible contaminación en esta etapa debido a factores ajenos al sistema. Los tanques de almacenamiento se ubican en terrenos abiertos y no existe protección alguna del terreno contiguo a los mismos. En el Tanque 1 se ha generado contaminación ya que algunas personas, inconcientes de las repercusiones de sus actos, han ido a tirar basura y ripio al mencionado terreno.

En el Tanque 2 se ha identificado el mismo riesgo. El lote no está cercado y a menos de diez metros se encuentra una vivienda rústica. No se tienen detalles acerca de las condiciones sanitarias de dicha vivienda, pero se pudo observar que los habitantes emplean el terreno contiguo al tanque como patio trasero. Allí mantienen animales domésticos y esto puede convertirse en un foco de contaminación del agua por medio de heces fecales.

El tercer riesgo identificado en esta fase se encuentra en el sistema mismo y no en el ambiente. El tanque de menor capacidad, que también resulta ser el más antiguo, tiene fisuras en la parte posterior superior. En las visitas se observó filtración de la parte de adentro hacia fuera. Sin embargo, no se realizó ninguna visita durante la época de lluvia para verificar que la filtración no se diera de afuera hacia adentro. Si este fuera el caso, el agua del sistema estaría en contacto con agua de lluvia, con agua acumulada en el techo del tanque, y con organismos arrastrados por la lluvia. Aunado a ello, la filtración

en las fisuras ha provocado que se formen organismos de ambiente húmedo, tales como el musgo.

#### **6.2.5. Desinfección**

Aunque esta no es una etapa en sí del sistema de Pachalúm, se consideró incluir esta operación en la identificación de riesgos debido a su importancia. En esta fase, se detectaron dos riesgos principales. El primero consiste en la aplicación de dosis inadecuada de desinfectante al agua. La aplicación de hipoclorito de calcio no debe realizarse de forma aleatoria en los tanques. Se debe considerar el volumen del tanque, así como el tiempo de contacto con el desinfectante, parámetros que por el momento, no se han tomado en cuenta. Tampoco se tiene prevista una concentración de cloro residual para que permanezca como remanente en el agua que se distribuye a la población.

El segundo riesgo identificado en esta etapa consiste en el almacenamiento inadecuado que se da al desinfectante. Actualmente se emplea hipoclorito de calcio en tabletas sólidas. Una cantidad de éstas es almacenada en los restos de un clorador existente sobre el Tanque 1. Esta situación constituye un riesgo considerable ya que las tabletas están expuestas a condiciones no adecuadas, como humedad o contaminación por ejemplo. Al agregar las tabletas al agua, no se sabe con certeza si el cloro se ha disuelto en parte o si la tableta ha perdido parte de su tamaño original.

### **6.2.6. Distribución**

Durante el tiempo de la elaboración del presente trabajo no se presentó ningún caso de ruptura de la red.

El riesgo identificado en esta etapa es referente a las instalaciones de chorros comunitarios. Durante la realización del presente trabajo se visitaron dos. En cuanto a la instalación de los grifos, éstos se encuentran a aproximadamente medio metro de la superficie de la calle. El tubo vertical de conducción es de PVC de media pulgada y se encuentra destapada. En cualquier momento puede ocurrir una contingencia y que el tubo se rompa, dejando fluir el agua y desperdiciándola.

Las condiciones de salubridad de los grifos deja mucho que desear. El riesgo de contaminación en este punto es también elevado. El grifo se encuentra a la intemperie, expuesto al sol, aire y lluvia (con todo lo que estas condiciones puedan arrastrar).

Se observó además que personas que utilizan estos grifos conectan mangueras, entre las cuales se pudo observar una improvisada de un material de hule. Las condiciones de higiene de estos implementos es desconocida, pero se observaron dichas mangueras tiradas en el suelo esperando su turno para ser conectadas. Polvo, bacterias y cualquier tipo de materia puede ser introducida al agua al conectarlas y contaminar, en esta fase final, el agua. También se observó que algunos niños bebían agua directamente de los grifos,

colocando su boca en la salida del mismo. Aquí pueden contaminarse los grifos y por ende, contaminar toda el agua que pasa por ellas.

### **6.2.7. Administración**

Aunque se trata de un sistema municipal de abastecimiento de agua potable, la administración del sistema está en manos de una asociación civil. Los miembros de dicha agrupación son líderes comunitarios. La función principal de esta organización es la de manejar el sistema de forma adecuada.

Desde el punto de vista socio-cultural, el aspecto más positivo que tiene el sistema es la manera en que está conformada la asociación de administración. El hecho que la población esté involucrada de forma directa permite el acercamiento entre las autoridades municipales y los usuarios del servicio.

La participación comunitaria abre las puertas a programas de apoyo internacionales. Las organizaciones que brindan financiamiento a programas de agua potable toman esta forma de administración como una ventaja y dan prioridad a los sistemas en que el sistema es manejado de forma autónoma, participativa e incluyente.

Los miembros de la asociación que administra el sistema se reúnen una vez al mes para programar actividades, entre las cuales están las visitas de inspección periódicas a las fuentes naturales y coordinar con la municipalidad la gestión de nuevos proyectos. Además, se encargan de la administración del sistema, es decir, de la recolección de las cuotas, la compra de cloro, el pago al personal, etc.

En esta actividad administrativa se han detectado tres riesgos principales. El primero de ellos es el relativo al cobro a la población. Cada domicilio paga una cuota simbólica de cinco quetzales mensuales por el servicio. Con el total de esta cuota, no se cubren los requerimientos básicos del sistema.

Esto afecta directamente a la población ya que sin fondos de autofinanciamiento no se pueden realizar mejoras en el sistema cuando éstas se requieran. La municipalidad apoya a la administración subsidiando costos mínimos de gestión y desarrollando proyectos grandes de mejoras, tales como la renovación total y ampliación del sistema. Sin embargo, la implementación de estos proyectos debe plantearse ante la gestión municipal y dependen del presupuesto.

Este riesgo también tiene otra perspectiva. La tarifa tan baja que se le ha asignado al agua potable representa un riesgo desde el punto de vista ambiental. Las fuentes de agua no son inagotables y el agua no es recurso perenne. Si la población no toma conciencia de alguna manera del costo real del vital líquido, continuarán desperdiciándola y dándole uso inadecuado. En

un programa de desarrollo sostenible se debe tomar en cuenta que el agua debe aprovecharse de forma racional.

El segundo riesgo identificado en esta etapa es un problema socio-cultural. La población rechaza que se agregue cloro al agua, debido a que el sabor de la misma cambia. Aunque se ha tratado de hacerles conocer que el agregar cloro al agua representa un beneficio para ellos, algunas personas se han quejado ante la corporación municipal. Este riesgo entra en el sistema de forma directa ya que si la población rechaza que se agregue el desinfectante al agua, la administración no puede asegurar que la calidad del agua sea óptima y que esté libre de agentes patógenos.

El tercer riesgo identificado en esta etapa es la carencia de reglamentación en cuanto al manejo y organización de los dirigentes del sistema de agua potable. La falta de regulación implica varias consecuencias: conlleva la desorganización, la centralización y concentración de actividades. No existen funciones específicas, ni tareas determinadas que se deban realizar. En cuanto a los miembros del comité, no está contemplada la contratación de asesores.

## **7. ANÁLISIS DEL AGUA POTABLE QUE SE INTRODUCE A PACHALÚM, QUICHÉ**

### **7.1. Análisis practicado**

A las muestras captadas, se les realizó un análisis fisicoquímico sanitario y examen bacteriológico, de conformidad con la técnica establecida en la edición del año dos mil de “*Standard methods for the examination of water and wastewater*” de la A. P. H. A. – A.W.W.A – W.E.F y a las normas COGUANOR NGO 29001 y NGO 4010. El análisis fue realizado por el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, que es parte de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), del Centro de Investigaciones (CII) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El análisis físico consiste en determinar el color y turbiedad del agua, así como la conductividad eléctrica. El color se puede determinar por medio del método de comparación visual, en el cual se observan las muestras y se cotejan con soluciones patrón. Otra técnica empleada se realiza con el espectrofotómetro.

La turbiedad se determina por medio del método nefelométrico o por medio de un turbidímetro de Jackson. En el presente estudio se empleó el método nefelométrico, que “se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea el polímero formazina.”<sup>121</sup> El resultado se reporta en unidades nefelométricas de turbidez.

Dentro de este análisis se incluye la percepción del olor y sabor del agua, que en ambos casos no debe ser rechazable. Sin embargo, en el laboratorio nadie prueba el agua para determinar si tiene o no sabor rechazable. Para determinar si el agua tiene o no olor rechazable, se percibe si tiene olores fétidos y el detectable “olor a huevo”, que indica que el agua contiene contaminantes y no es apta para el consumo humano.<sup>122</sup>

El análisis bacteriológico efectuado consiste en la determinación del número de microorganismos coliformes fecales presentes en el agua, a través del empleo del método de tubos múltiples de fermentación. Este método tiene, de conformidad con la Norma COGUANOR NGO 29001, dos alternativas de

---

121

APHA, AWWA, WPCF, *Ob. Cit.*, p. 2-14

122

Otros olores característicos en el agua son, por ejemplo, “...las aminas, que producen el típico olor a pescado, las diaminas, que huelen a carne putrefacta...” Aguamarket. **Diccionario del agua.** <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3969>. Marzo 2006



aplicación. En el caso específico del análisis llevado a cabo por el laboratorio de química y microbiología sanitaria para el presente estudio, se empleó el método realizando pruebas con 15 tubos. Para llevarlo a cabo, “se examinan 5 tubos con porciones de 10 mL, 5 tubos con porciones de 1 mL y 5 tubos con porciones de 0.1 mL ...”<sup>123</sup>

Como resultado de la técnica de fermentación en tubos múltiples se obtiene un valor expresado en términos de Número Más Probable (NMP), que se refiere a la cantidad posible de microorganismos que pueden estar presentes en el agua de donde se ha tomado la muestra. “Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra”<sup>124</sup>

Los datos de esta densidad ya han sido tabulados de manera que con los resultados del análisis de fermentación se puede leer directamente en una tabla los valores, tanto en libros técnicos especializados como en legislación. La norma guatemalteca COGUANOR NGO 29001 incluye en los anexos una tabla de Número Más Probable – NMP- respecto a los resultados positivos o negativos de los tubos de fermentación.

---

123

Norma COGUANOR NGO 29001

124

APHA, AWWA, WPCF, *Ob. Cit.*, p. 9-78

El análisis por la técnica en fermentación consiste de dos fases; la prueba presuntiva y la prueba confirmativa. Para la primera etapa se emplea un medio de cultivo de lactosa, se incuban los tubos inoculados por 48 horas a temperatura de 35°C. Si en el cultivo realizado para la etapa presuntiva no se forma gas dentro del lapso de 48 horas, entonces no es necesario pasar a la siguiente etapa.

Si por el contrario, la muestra da resultados positivos en la forma presuntiva, es necesario confirmar la presencia de coliformes con la siguiente prueba. En esta etapa se emplea medio de cultivo de verde brillante lactosa bilis. Los tubos inoculados se llevan nuevamente a incubación durante 48 horas. En ambas pruebas se considera un resultado positivo cuando en el periodo de tiempo establecido se forma ácido, que se observa con la formación de gas en el tubo de ensayo.

En el caso de la determinación de coliformes fecales, se trata de una prueba que sólo es confirmativa; en el caso de resultados negativos en la determinación de coliformes totales, no es necesario continuar con el examen de las bacterias. La prueba proporciona información acerca de la procedencia de los microorganismos del grupo coliforme; si son de origen fecal o no.

Esta prueba puede llevarse a cabo de dos maneras: tubos de fermentación con medio de cultivo EC, que se reporta positiva con la formación de gas en un período de 24 horas; y por medio de estimación directa en medio

líquido A-1,<sup>125</sup> cuyo resultado positivo también se observa con la aparición de gas. Ambos métodos difieren tanto en el medio de cultivo empleado como en el procedimiento de incubación.

## 7.2. Captación de muestras

### 7.2.1. Selección de lugares físicos

Aunque el control de la calidad del agua debe tenerse presente en todas las etapas del sistema, la limitación de recursos fue el factor determinante para tomar la decisión de cuántas muestras tomar; y por ello, solamente se recolectaron muestras en cuatro puntos del sistema.

La selección de los puntos específicos de toma de muestra se hizo con base en el diseño del sistema de distribución. En la sección de captación no se tomó ninguna muestra, ya que ésta está conformada por más de doce nacimientos naturales. Además, las condiciones climatológicas (intensas lluvias y luego el paso del huracán Stan) no permitieron el ascenso al cerro en donde se encuentran dichos nacimientos.

---

<sup>125</sup>

La preparación de los medios de cultivo EC y líquido A-1 puede verificarse en la página 9-88 del texto **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.**

En la sección de almacenamiento, se seleccionó el punto de entrada de cada uno de los dos tanques de almacenamiento con que cuenta el Municipio. El agua que entra a cada tanque proviene directamente de la captación en el cerro.

En la sección de distribución se captaron dos muestras, cada una correspondiendo a una salida de cada tanque. Debido a que cada tanque tiene al menos tres salidas en direcciones distintas, se seleccionó una salida al azar. En el Tanque 1 se tomó la muestra en el punto más lejano posible; éste resultó ser un chorro comunal. La última captación, que corresponde al Tanque 2, se realizó en una casa particular. Esta casa se sirve de agua en el punto en donde los dos ramales del sistema de distribución se unen, es decir, en un lugar en donde el agua se mezcla proveniente de ambos tanques.

### **7.2.2. Condiciones**

Comúnmente se sabe que los resultados de cualquier análisis no pueden ser mejores que las muestras que sirven para su realización. Es por ello que la captación de muestras debe ser lo más acertada posible. Las muestras son porciones de un todo que convenientemente se extraen para realizar análisis y pruebas representativos.

Para la captación de muestras del presente estudio, se procuró aplicar las medidas recomendadas por la APHA, AWWA y WEF<sup>126</sup> para su manejo. Las muestras para examen bacteriológico se recolectaron en un frasco de vidrio debidamente esterilizado y se transportaron sumergidas en hielo, para mantener la temperatura adecuada hasta su análisis. Las muestras para examen fisicoquímico se transportaron en un recipiente plástico apropiado (de volumen de un galón), especialmente proporcionado por el laboratorio que realizó el análisis.

Al finalizar la captación de muestras, éstas fueron llevadas inmediatamente a la sede del laboratorio para ser examinadas. El tiempo transcurrido desde la recolección hasta el análisis fue el mínimo posible, dada la distancia y transporte de una ubicación a la otra. Esta operación tomó aproximadamente cuatro horas.

El procedimiento a seguir para la recolección de cada muestra fue diferente según el lugar de dónde se extrajo la porción de agua requerida. En la etapa de almacenamiento del sistema de agua de Pachalúm, la recolección de agua en la entrada de los tanques se hizo directamente en la tubería de ingreso que proviene de la captación. Para las muestras captadas en los grifos de la etapa de distribución, se procedió a aplicar calor directamente a la salida de la llave, por medio de un mechero de alcohol y por el tiempo de cinco minutos aproximadamente. Esto se hizo con el fin de esterilizar la salida de la llave,

---

126

*American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, (20<sup>th</sup> Edition, 1992) p. 1-20, 1-21*

para evitar resultados erróneos causados por contaminación del grifo y no del agua. Todas las muestras se capturaron en forma manual.

La cadena de custodia en cuanto al manejo de las muestras fue controlada de acuerdo a los parámetros generales dictados<sup>127</sup>. A cada muestra se le colocó una etiqueta de identificación que contenía la siguiente información: fecha, hora y lugar exacto de la toma, fuente, Municipio, departamento, persona que tomó la muestra y condiciones de transporte (con o sin refrigeración). En el caso de las muestras para análisis bacteriológico, los frascos fueron cerrados inmediatamente después de haber sido llenados, se envolvieron en papel kraft y luego fueron amarrados a manera de sellarlos. Para transportar las muestras con refrigeración se empleó un recipiente hermético con suficiente hielo. Las otras muestras se transportaron dentro de una bolsa plástica.

---

127

*Loc. Cit.*

### 7.3. Resultados<sup>128</sup>

Desde el punto de vista fisicoquímico, el agua en la entrada del tanque ubicado frente al centro de salud, Tanque 1, tiene características aceptables. El aspecto es claro, el color es de 1.0 unidades y el agua es inodora. El pH es de 7.4 unidades, por lo que se encuentra dentro de lo que se considera aceptable para agua potable. El análisis determina que además, el agua tiene presentes sólidos, aunque la cantidad se encuentra también dentro de los límites máximos aceptables, según la Norma COGUANOR NGO 29001. El único parámetro fuera de estos límites es la dureza total; cuya medición se encuentra ya en los límites máximos permisibles con un valor de 116 mg / L.

Desde el punto de vista bacteriológico, el agua en la entrada del tanque que se ubica frente al centro de salud, no es potable. La prueba presuntiva y confirmativa de determinación de presencia de coliformes dio resultados positivos, tanto para la siembra de 10.0 cm<sup>3</sup> como para la de 1.00 cm<sup>3</sup>.

El análisis realizado a la muestra de la salida del Tanque 1 revela características similares al agua en la entrada de dicho tanque. La dureza resultó ser el parámetro que se encuentra sobre el límite máximo aceptable.

---

128

Ver el informe técnico de los resultados entregado por el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería en los anexos del presente trabajo.

También se detectó la presencia de sólidos en el agua dentro del límite máximo aceptable.

Desde el punto bacteriológico, el agua en la salida del Tanque 1 si es potable, ya que en las pruebas de detección de bacterias coliformes, no se detectó la presencia considerable de dichos patógenos.

Las características tanto a la entrada como a la salida del Tanque 2 demuestran que bacteriológicamente el agua es potable. Desde el punto de vista fisicoquímico, los análisis indican que los parámetros se encuentran dentro de los límites máximos aceptables. Sin embargo, igual que el agua del Tanque 1, la dureza resulta estar fuera del límite máximo aceptable, pero aún dentro del límite máximo permisible.

En los resultados de las muestras captadas en las salidas de los tanques, no se detectó la presencia de cloro residual.



## 7.4. Análisis de resultados

El análisis bacteriológico determinó la presencia de bacterias del grupo coliforme en la muestra de agua en la entrada del tanque ubicado frente al centro de salud, "Tanque 1".

Los resultados del conjunto de tubos de fermentación (5 positivos de 10 mL cada uno, 5 positivos de 1 mL cada uno y cero positivos de 0.1 mL cada uno) permite concluir, de conformidad con los parámetros estipulados en la Norma COGUANOR NGO 29001, que el número más probable de coliformes totales presentes por cada 100 mL de agua es de 240.<sup>129</sup> La norma citada expresa que en el caso de que tres o más tubos que contengan 10 mL de muestra resulten positivos se tiene agua no apta para el consumo humano.

En la prueba confirmativa para la determinación de presencia de bacterias del grupo coliforme fecal, sólo dos de los cinco tubos de ensayo con 10 mL dieron resultado positivo. Esta combinación (2 positivos de 10 mL cada uno, cero positivos de 1 mL cada uno y cero positivos de 0.1 mL cada uno) permite concluir, de conformidad con los parámetros estipulados en la Norma COGUANOR NGO 29001, que el número más probable de coliformes fecales presentes por cada 100 mL de agua es de 4.<sup>130</sup>

---

<sup>129</sup>

Ver anexo 2 de la Norma COGUANOR NGO 29001

Este resultado permitió la identificación de un riesgo, para el cual deben tomarse medidas correctivas de forma inmediata. El agua no es apta para el consumo humano, y el hecho de que existan coliformes de procedencia fecal, indica que en algún punto el agua está en contacto con heces de animales o de humanos. Este foco de contaminación debe localizarse y al detectarlo, tomar medidas para no permitir el ingreso de agentes patógenos al agua. Posteriormente deben realizarse nuevos análisis para corroborar la calidad del agua.

La determinación de que el agua en el Tanque 1 no es potable, representa un grave riesgo para la comunidad, ya que el Centro de Salud ubicado frente a este tanque, se abastece de agua directamente de la tubería de conducción proveniente de la etapa de captación y no del tanque. El agua no recibe ningún tratamiento dentro del centro de salud, por lo que el agua allí empleada puede ser fuente de transmisión de enfermedades.

Para el caso del “Tanque 2”, la prueba por el método de tubos de fermentación no generó gas en los cultivos. El resultado técnico se expresa diciendo que el número probable de bacterias coliformes presentes por cada 100 mL de agua es menor de dos. Esto significa que la muestra contiene como número más probable, menos de dos bacterias de este grupo por cada 100 mL de agua y con ello satisface los parámetros de la norma de calidad y es apta para el consumo humano

Debido a que en la entrada del tanque identificado en la pruebas como "Número 2", no se detectó la presencia de bacterias del grupo coliforme, se puede deducir que el agua que proviene de los nacimientos no está contaminada con dichas bacterias. El punto de contaminación posiblemente se encuentra en la tubería de conducción, después de la bifurcación que conduce el agua hacia cada uno de los tanques.

En el agua a la salida de los tanques, no se registró la presencia de cloro residual. Este resultado es importante ya que revela que el agua en la distribución está propensa a contener bacterias patógenas.



## **8. PROPUESTA DE UN PLAN DE SEGURIDAD PARA EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE PACHALÚM, QUICHÉ**

### **8.1. Identificación de las medidas de control**

La medida de control a tomar en forma inmediata en el sistema es la elaboración de manuales de operación, revisión y procedimientos para llevar a cabo todas las actividades del sistema. Esta acción será encomendada a una comisión de la asociación de administración, quienes, juntamente con los involucrados en cada etapa, redactarán en forma clara y precisa cada una de las acciones a tomar. De esta manera, se tendrán documentados todos los procedimientos para que estén disponibles en cualquier momento.

#### **8.1.1. Tratamiento**

No se contempla una etapa de tratamiento a corto plazo debido a las características que tiene el agua del sistema. Sin embargo, a mediano plazo se deberá instalar un sistema de ablandamiento de agua, aunque “no hay evidencia de que la dureza sea dañina para la salud...”, ya que este parámetro se encuentra dentro de los límites máximos permisibles. “El ablandamiento con

cal- soda no removerá toda la dureza y usualmente es operado para producir una dureza residual aproximada de 100 mg/L como CaCO<sub>3</sub>. Mayores reducciones no son económicas y pueden tener, de igual manera, consecuencias adversas para la salud.”<sup>131</sup>

### **8.1.2. Desinfección**

Llevar a cabo una buena desinfección como medida de control, es requisito indispensable para proporcionar agua de calidad potable a la población.

En cuanto a la desinfección en si, como medida de control se debe modificar la forma de aplicación del desinfectante. En primer lugar, se debe capacitar a la persona que opera con los reactivos. Se le dotará de implementos de seguridad para el manejo de los compuestos: se le entregarán mascarillas, guantes y una gabacha. Se le adiestrará acerca del correcto manejo de las sustancias, así como su comportamiento en situaciones accidentales o de emergencia.

---

<sup>131</sup>

McGhee, *Ob. Cit.*, p. 247

Por la limitación legal que existe<sup>132</sup>, se desinfectará el agua únicamente con cloro. Se podrá utilizar cualquier presentación de cloro y sus derivados que resulte adecuada para el sistema.

Cuanto antes y a más tardar dentro del plazo máximo de tres años, se podrá continuar sin un equipo de cloración. Sin embargo, luego del vencimiento de este plazo, la administración deberá agenciarse de un clorador. Mientras no se tenga el equipo, se deberá tomar en cuenta que la dosis requerida de cloro residual libre es, de conformidad con la norma COGUANOR NGO 29001, de 0.5 mg /L

Tomando en cuenta la capacidad de los tanques, y la presentación actual de cloro que se utiliza en el sistema (hipoclorito de calcio: tabletas al 60 %), la dosis para el tanque de 95 metros cúbicos es de 0.186 Kg, mientras que para el conjunto de tanques (95 + 67 metros cúbicos) la dosis recomendada es de 0.3173 Kg .<sup>133</sup> Esta dosis permite obtener una concentración de cloro libre residual de 0.5 mg/L. Se debe tomar en cuenta el tiempo de contacto, el cual debe ser al menos 30 minutos.

---

132

El Decreto 12- 2002, Código Municipal, establece en el Artículo 68 literal a), que las municipalidades están obligadas a proporcionar agua potable “debidamente clorada”, excluyendo así, cualquier otra forma de desinfección.

133

Véase la muestra de cálculo en el apéndice de este trabajo.

La verificación de la dosis correcta de cloro, la hará directamente el encargado de su aplicación. Para ello, se le dará capacitación acerca del uso de medios de verificación. La administración le suministrará kits de verificación rápida para determinar el cloro residual libre. Estos chequeos, se harán de forma aleatoria por lo menos una vez a la semana. Todos los resultados y observaciones pertinentes se llevarán anotados en un récord de control.

Para mejorar el funcionamiento de la operación de desinfección actual, se procederá a almacenar las tabletas de hipoclorito de calcio en un lugar adecuado, libre de humedad y protegido de las inclemencias del clima.

### **8.1.3. Renovación del sistema**

Las condiciones locales al momento de diseñar el sistema de distribución de agua potable vigente han cambiado. La población ha crecido y las condiciones de calidad del asentamiento humano han mejorado respecto a las anteriores. La población cuenta con nuevos servicios, y requiere a la vez, que éstos sean manejados conforme al plan de desarrollo del Municipio. La habilitación del tramo de carretera que conecta directamente al Municipio con el departamento de Guatemala ha incrementado el nivel de vida de los pobladores debido a la facilidad del comercio. Gracias a la contribución de compatriotas en el extranjero, a través de sus remesas, la ciudad ha crecido y el tipo de vivienda ha cambiado. Todos estos aspectos han generado un aumento en la demanda del servicio de agua potable. El sistema actual no permite cubrir esa necesidad.



Como parte de las medidas de control se deben adoptar todos los proyectos que impliquen mejoras en el sistema. Entre estos proyectos se encuentra la renovación del sistema de agua potable. La municipalidad ya había contemplado que para cubrir la demanda actual debe renovar y ampliar el sistema existente. El proyecto de ampliación del sistema de agua potable, al implementarse, ampliará la cantidad de fuentes naturales que abastecen al Municipio, se colocará tubería de mayor tamaño en la conducción para que pueda circular el nuevo caudal y se construirá un nuevo tanque de almacenamiento. El sistema de conducción pasará a ser de 6 pulgadas de diámetro, todo en tubería de PVC. El tanque nuevo a construir tendrá capacidad para 400 metros cúbicos de agua.

La aplicación de proyectos de mejoramiento del sistema constituye una medida de control si dichos proyectos son desarrollados de acuerdo con normas sanitarias que limiten en cualquier punto la contaminación del agua. El hecho de ampliar el caudal de agua que llega al sistema no implica que la calidad de agua sea la requerida o que ésta se mantenga sin modificación. Antes de ampliar el sistema se debe realizar la identificación de los nuevos riesgos que se puedan generar y con ellos, se deben tomar nuevas medidas de control que se adecuen a los nuevos requerimientos.

#### **8.1.4. Reglamento**

La municipalidad debe emitir un reglamento para regular la prestación del servicio de agua potable. En él, se deben desarrollar algunos términos específicos relativos a la prestación, tales como quiénes son los usuarios, los derechos y obligaciones de los abonados, la administración, la calidad del suministro, casos en que falle el suministro, abastecimiento, mantenimiento, infracciones y cualquier situación que se relacione con el servicio.

El reglamento debe especificar que la asociación que maneje el sistema debe conformar comisiones de trabajo. Entre ellas se deben reunir, por lo menos, la comisión que se encargue de planificar, programar, ejecutar y verificar programas relativos a: a) el sistema de cobro, b) la infraestructura del sistema, c) la calidad del agua, d) relaciones públicas y comisión de programas de apoyo.

#### **8.1.5. Administración**

En esta etapa, se ha determinado que el reajuste en las tarifas por uso del servicio es necesario. Para realizar un estudio económico y financiero, se tomará en cuenta al Instituto de Fomento Municipal – INFOM- para que la administración actual, junto con asesoría técnica especializada, puedan establecer una tarifa adecuada a la realidad socioeconómica de los usuarios en

Pachalúm, que a la vez logre cubrir los gastos de operación y mantenimiento del sistema.<sup>134</sup>

Con esta medida, la administración debe desarrollar un nuevo sistema de cobro a la población, en el cual el pago por el servicio, sea proporcional al consumo. Para ello se hace necesaria la instalación de medidores de flujo para las conexiones domiciliarias. Para favorecer a la población, se debe establecer un período de adaptación, en el cual el cobro de la nueva tarifa no sea todavía acorde al consumo. Para esto, se tomará un plazo máximo de tres años, en el cual la municipalidad podrá otorgar un subsidio directo a los consumidores. Después del vencimiento de dicho plazo, el cobro de la tasa se hará conforme el consumo que se observe directamente de los medidores.

---

134

También pueden tomarse en cuenta estudios realizados anteriormente, tales como el que efectuó la Organización Panamericana de la Salud junto con el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá –INCAP-, para el área rural en 1994, “donde su objetivo general fue la determinación de las tarifas que las comunidades usuarias de los sistemas de agua potable establecidos por el proyecto de Agua y Saneamiento del Altiplano –PAYSA-, pueden pagar y su respectiva capacidad de recuperación de los costos de instalación. Ello implicó conocer los presupuestos de ingresos y gastos anuales de las familias, su capacidad de pago y los costos de instalación de los sistemas de agua. Dentro de los resultados más importantes podemos mencionar los siguientes:

- Las tarifas se estimaron tomando el 10 y 20% de la media geométrica del excedente de la finca/hogar, lo que generó tarifas mensuales de US\$ 0.43 y US\$ 0.87 respectivamente, que se redondearon en US\$ 0.52 y US\$ 0.87 mensuales.
- Las tarifas están en niveles permisibles para los usuarios, y aseguran en su orden, un pago inicial para recuperación de los costos de instalación de US\$ 0.26 y US\$ 0.61, cubriendo en ambos casos US\$ 0.26 mensuales estimados por PAYSA para operación y mantenimiento
- Las tarifas estimadas tienen baja capacidad de recuperación, lo cual no parece extraño pues las comunidades usuarias son poblados pobres.”

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el **Informe analítico Guatemala 2002**, <http://www.bvssan.incap.org.gt/eswww/eva2000/guatemala/informe/inf-02>. Mayo 2006.

Para la implementación de esta medida, la administración debe contemplar la contratación y capacitación de nuevo personal. Debe contratarse a un encargado de realizar las mediciones en cada domicilio donde se tengan instalados los medidores. A esta persona se le debe capacitar en cuanto a la forma de realizar las mediciones, así como en cuanto a la forma de entrega de reportes. Existirá un manual de procedimientos que el operario podrá consultar en cualquier momento.

A más tardar en el último año del periodo de adaptación a la nueva tarifa, la administración deberá contar con un sistema de cobro en el cual tenga registrados a los usuarios, los contadores y los consumos. Para realizar esta actividad, no es necesaria la contratación de nuevo personal, solamente se requiere la capacitación de los actuales operadores de cobros, para que conozcan y puedan utilizar el nuevo sistema a implementar. Esta actividad también estará detallada en un manual de operación.

## **8.2. Plan de manejo**

Como primer apartado en el plan de manejo, se establecen los puntos de control del sistema; estos son: la captación, la conducción, los tanques de almacenamiento y el sistema de distribución. En estos puntos, se harán inspecciones mensualmente. Se revisará observando las condiciones físicas de las obras y se anotará cualquier cambio en un record de monitoreo. Además, en caso de observarse alguna falla o riesgo, el encargado lo comunicará de inmediato a la administración.

Cuando se presenten situaciones de emergencia o alerta debido a fenómenos naturales, en ningún momento se suspenderán las medidas de control. Si se presentaren fisuras en cualquier parte de tubería, de ser posible, se aislará la parte dañada. El tiempo entre la ocurrencia de la causa de rotura y la reparación de la misma, deberá ser el mínimo posible, de manera que el servicio no se vea interrumpido en dichas situaciones.

En situaciones de rotura de la tubería, deberá limitarse el acceso del vital líquido en la etapa de distribución, hasta que se haya verificado que no ha habido infiltración o que la calidad del agua no ha sido afectada. Las llaves de distribución permanecerán cerradas hasta que la condición perdure. Si el accidente sucediera en la etapa de conducción, y se detectara contaminación en el agua, se deberá agregar una cantidad de desinfectante mayor, a manera de equilibrar los cambios.

Si se verificare algún caso de contaminación de las fuentes naturales que proveen agua al sistema, el servicio se deberá interrumpir hasta que se haya determinado que el agua es apta para el consumo humano y que la fuente de contaminación ha cesado.

Si en algún momento se comprobare que la cantidad de desinfectante aplicado es mayor al requerido, se interrumpirá el servicio, hasta determinar que la dosis contenida en el agua no es nociva para la salud de los consumidores. La administración deberá investigar la causa de la aplicación incorrecta, verificando los procedimientos establecidos en el manual de operación.

En el caso de desastres naturales que causen estragos y generen el esparcimiento de enfermedades, se respetarán y seguirán las instrucciones que dicte el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Si existiere duda de la calidad del agua, se podrá suspender temporalmente el servicio.

### **8.3. Informes**

Mensualmente, se entregarán informes de lo sucedido en el sistema. Se tendrá un informe de actividades, un informe de verificación de medidas de control, y un informe de riesgos detectados. La administración revisará durante la semana siguiente a su entrega, la información contenida. Cuando algún riesgo o situación lo amerite, la administración podrá tomar medidas paliativas temporales o definitivas.

De forma anual y con base en estos informes, la administración validará los procedimientos llevados a cabo, así como las medidas de control tomadas. También planificará medidas correctivas a corto y mediano plazo, conforme a los nuevos riesgos detectados.

#### **8.4. Monitoreo**

El monitoreo de la calidad del agua, lo llevará a cabo un laboratorio diferente al elegido para realizar los análisis ordinarios de agua. Se enviarán las muestras de agua para su análisis fisicoquímico y microbiológico. Estas pruebas se realizarán por lo menos dos veces al año.

El monitoreo general, podrá hacerlo la UNEPAR, del Instituto de Fomento Municipal –INFOM -, o cualquier entidad que la administración decida. Deberá inspeccionarse el estado físico de las unidades del sistema. También es conveniente la auditoria de los procedimientos llevados a cabo. Este control deberá llevarse a cabo al menos una vez al año.

#### **8.5. Programas de apoyo**

Se llevará a cabo una campaña de difusión, en la cual se debe dar a conocer a los usuarios acerca de la implementación de nuevas medidas de calidad en el sistema. Esto permitirá que el usuario se identifique con ellas, y valore los nuevos beneficios que implican.

Además, se debe dar a conocer con suficiente antelación lo relativo al nuevo sistema de facturación y cobro, así como de las modificaciones al sistema de tarifas. Esto debe realizarse en conjunto con la promoción de mejora en la calidad del servicio, para que la población perciba que se ha

invertido en el sistema, y por ende, en mejorar la calidad del servicio (tanto de la prestación como del producto).

Los programas de capacitación para el personal involucrado serán parte constante de la retroalimentación del sistema. Se preparará al personal para las distintas actividades. Los encargados de la captación de muestras, análisis de calidad y monitoreo, deberán recibir capacitaciones en técnicas de muestreo, así como adiestramientos en control de calidad. Estas capacitaciones estarán relacionadas con los procedimientos llevados a cabo en el laboratorio de análisis elegido. Se coordinará con ellos acerca de la formación mínima que se requiera para la obtención de resultados exactos y precisos.

En cuanto a los programas de apoyo que se relacionen con programas de salud, existirá una comisión dentro de la administración encargada de diseñar propuestas y coordinar con las instituciones de salud del Municipio.

Además, se elaborará una propuesta de programas de educación que puedan llevarse a cabo directamente en las escuelas del Municipio.<sup>135</sup> Estos programas deberán coordinarse con la Municipalidad y los dirigentes del área de educación.

---

135

Aquí por ejemplo, se puede ingresar al sistema de programas internacionales de capacitación en el área de agua potable. Un programa interesante que requiere de poca inversión es el Aquatox (se puede acceder a él en [aquatox.net](http://aquatox.net)) a través del cual se les enseña a los participantes a controlar la calidad del agua por medio de experimentos sencillos.



## **8.6. Programación para la implementación del plan de seguridad**

El plan de seguridad está diseñado para ser implementado en un período máximo de cinco años. Las primeras actividades deben iniciarse de inmediato, otras actividades deberán realizarse antes de finalizar el primer año de operación. La implementación total de un nuevo sistema de cobro se ha contemplado que puede llevarse a cabo en el período comprendido entre el tercer y quinto años. En la tabla No. III se presentan las actividades a realizar en forma alfabética, la periodicidad con que deben llevarse a cabo dichas labores y el período de inicio de la implementación de tareas.

**Tabla III. Actividades del plan de seguridad, tiempo de implementación y periodicidad**

<b>Actividad</b>	<b>Periodicidad</b>
	<b>Tiempo de implementación: de inmediato</b>
Análisis de nuevas muestras de agua en la etapa de captación y conducción para la determinación del foco de contaminación	Única vez

Apertura del récord de actividades	Anualmente
Capacitación para el personal	Anualmente
Diseño de campaña para modificar el sistema de cobro	Única vez
Diseño de la campaña de difusión de las medidas implementadas	Anualmente
Diseño e implementación de programas de apoyo relacionados con educación	Anualmente
Diseño e implementación de programas de apoyo relacionados con salud	Anualmente
Elaboración de informes (de actividades realizadas, verificación de medidas de control, identificación de riesgos, etc.)	Mensualmente

Elaboración de manuales de operación y procedimientos	Cada tres años
Emisión de reglamento para el manejo del sistema de agua potable	Única vez
Inspección visual de las instalaciones	Mensualmente
Presentación del plan de seguridad	Única vez
Toma de medidas correctivas con base en los resultados de calidad del agua potable	Única vez
Traslado de desinfectante a lugar adecuado	Única vez
Verificación rápida de la presencia de cloro residual libre	Semanalmente

**Tiempo de implementación: antes del primer año**

Análisis de calidad de agua potable	Al menos semestralmente
Compra e instalación del clorador	Única vez
Elaboración del estudio económico para establecer nueva tarifa	Única vez
Monitoreo y auditorías externas	Al menos anualmente
Planificación e implementación de medidas de control	Cuando sea necesario
Planificación e implementación de medidas de control	Cuando sea necesario
Validación de manuales	Anualmente

**Tiempo de implementación: antes del tercer año**

Contratación de nuevo personal para el nuevo sistema de cobro Única vez

Diseño de campaña para modificar el sistema de cobro Única vez

Elaboración de registro actualizado que identifique a los usuarios, medidores y consumos Única vez

Instalación de medidores de flujo domiciliarios Única vez

**Fuente: Elaboración propia**



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis microbiológico realizado, el agua que entra al sistema no es apta para el consumo humano. En el sistema existe un punto, en el cual entra contaminación al agua y se localiza en algún lugar de la etapa de captación o conducción.
2. De acuerdo a los resultados de los análisis efectuados, el agua que recibe la población es apta para el consumo humano, ya que, cumple con los requisitos mínimos de calidad establecidos para el agua potable.
3. El sistema físico de distribución de agua potable funciona actualmente de forma aceptable, sin embargo, carece de una etapa de tratamiento que podría mejorar las características del agua, especialmente, la dureza, característica que se encuentra dentro del límite máximo permisible.
4. Una fortaleza que destaca en el análisis del sistema, desde el punto de vista participativo y socio-cultural lo constituye la administración. Ésta está conformada por miembros de la comunidad, de manera que esta forma de manejo es participativa e incluyente.

5. Desde el punto de vista operativo, la administración del sistema es deficiente debido a que las personas que lo manejan no tienen los conocimientos adecuados para dirigir el servicio, pero sobretodo, por que no existe un reglamento que determine las funciones de los miembros ni sus actividades.
  
6. La tarifa del servicio de agua potable no es acorde al costo real del servicio.
  
7. El punto crítico del sistema se encuentra en la etapa de captación, pues, es la parte más propensa a la contaminación.



## RECOMENDACIONES

1. A corto plazo se deben realizar análisis de calidad microbiológica del agua en las etapas de captación y conducción, de manera que se pueda localizar el punto en el que entra contaminación al sistema.
2. Como parte del manejo adecuado del sistema y para verificar la calidad del agua que se distribuye a la población, se deben llevar a cabo análisis microbiológicos y fisicoquímico-sanitarios al menos dos veces al año.
3. Cuanto antes, se debe elaborar el análisis de costos para la verificación de la tarifa del servicio de agua potable. Se debe tener como objetivo en el reajuste, la cobertura de los costos de operación, así como una recaudación que permita reinvertir en mejoras para el sistema. Para ello, también se debe tomar en cuenta el nivel de vida de los pobladores, de manera que la tarifa se ajuste a la realidad y capacidad de pago de los usuarios. El reajuste debe ser gradual y debe ir acompañado de medidas que mitiguen el impacto en los estratos más bajos de la población.
4. Se debe llevar a cabo la instalación de medidores domiciliarios para la estimación del consumo individual. Esta acción constituirá una herramienta para la implementación de un nuevo sistema de tarifa, pero

también, será útil para realizar mediciones de flujo y determinar la capacidad del sistema.

5. El sistema de administración con la inclusión de miembros comunitarios debe continuar y ser fomentado por la municipalidad.
  
6. La municipalidad debe emitir un reglamento en el que se regule lo relativo a la prestación del servicio de agua potable; su manejo, las funciones del comité de administración, la creación de un ente que brinde asesoría técnica, las tarifas aplicables, etc.
  
7. Por seguridad de la comunidad, el centro de salud debe contar con un sistema propio de desinfección de agua potable, puesto que, como se estableció por medio del análisis microbiológico efectuado, el agua que llega a dicho centro, está contaminada.

## REFERENCIAS

1. Arriola, Jorge Luis. **Libro de Geonimias de Guatemala**. Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra, 1973.
2. Código Alimentario Español. S.l. s.e. s.a.
3. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), **Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental**  
<http://www.cepis.ops-oms.org/sde/ops-sde/bv-agua.shtml>
4. Equipo líder temático sobre agua y saneamiento, cuarto foro mundial del agua, **Eje Temático No. 3 – Agua y Saneamiento para Todos, 2005**.  
<http://hercules.cedex.es/fma/Documentos base/Agua y saneamiento.pdf>
5. Harriet Chick, ***Investigation of the laws of disinfection***. S.l. s.e. s.a.
6. Herrera Linares, René Librado. Desinfección en sistemas de agua potable en pequeñas comunidades guatemaltecas. Tesis ingeniero civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1981.
7. Houston, A. V. ***Supplements to the 28th and 29th annual reports of the local government board containing the report of the medical officer of health for 1889-99 and 1899-1900***, Inglaterra: s.e. s.a.

8. Walter, Ian y Max Velásquez. “Análisis Regional de la Descentralización de los servicios de agua y saneamiento en América Central y la República Dominicana.” ***Environmental Health Project. Activity report No. 65.*** Estados Unidos, 1999 [http://pdf.dec.org/pdf\\_docs/PNACF341.pdf](http://pdf.dec.org/pdf_docs/PNACF341.pdf)

# BIBLIOGRAFÍA

## Libros

1. APHA, AWWA, WPCF. **Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales**. España: Ediciones Díaz de Santos, 1989.
2. Fair, Gordon Maskew *et. Al.* **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales: Vol. 1 Abastecimiento de aguas y Vol. 2 Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**. México: Editorial Limusa, 1971.
3. Grimaldi, John y Rollin Simonds. **La seguridad industrial, su administración**. Segunda Edición. México: Editorial Alfaomega, 1991.
4. Kemmer, Frank y John Mc Callion, NALCO Chemical Company. **Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones**. México: Editorial Mc Graw Hill, 1989.
5. Mc Ghee, Terence. **Abastecimiento de agua y alcantarillado**. Colombia: Editorial Mc Graw Hill, 1999.
6. Pelczar, Michael J. **Microbiología**. 4ª Edición. México: Editorial McGraw Hill, 1995.
7. Zandin, Kjell. **Maynard manual del ingeniero industrial**. 5ª edición. México: Mc Graw Hill, 2005.

## Diccionarios

1. Angenault, Jaques. **Diccionario enciclopédico de química** (México: Compañía Editorial Continental S. A. (CECSA), 1999.
2. Catalán Lafuente, José. **Diccionario técnico del agua**. España: Editorial Bellisco, 1977.
3. **Diccionario ilustrado Océano de la lengua Española**. España: Grupo Editorial Océano.
4. Microsoft Corporation. **Biblioteca de consulta Microsoft ® Encarta ®** Versión electrónica. 2005.
5. Thema Equipo Editorial. **La biblia de la física y química**. España: Lexus Editores, 2003.
6. Valiente Banderas, Antonio. **Diccionario de ingeniería química**. México: Longman Editores, 1990.

## Publicaciones

1. Carceller Fernández, Antonio. “La Ley de Urbanismo de Cataluña”. **Revista de derecho urbanístico y medio ambiente**. España: Número 205 octubre-noviembre 2003.
2. Salguero España, Manuel. “Consejos del consultor: El agua potable”. **Prensa Libre**. Guatemala, 27 de mayo de 2006.

## Referencias electrónicas

1. Aguamarket. **Diccionario del agua.** Versión electrónica. <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3969>. Marzo 2006.
2. Aguilar Reynoso, José. **Portal web de los quichelenses.** <http://www.elquiche.com/pachalum.htm>. Octubre 2005.
3. Asociación de academias de la lengua española. **Diccionario de la lengua española.** Vigésima segunda edición. Versión electrónica. <http://buscon.rae.es/diccionario/drae.htm>. Junio 2005.
4. Echarri Prim, Luis. **Ciencias de la tierra y del medio ambiente.** Libro electrónico. <http://www.ceit.es/asignaturas/ecología/hipertexto/00general/glosario.html>. Febrero 2006.
5. García Gómez, Hermenegildo. Entrevista personal. 4 de septiembre de 2003 [http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad\\_y\\_consumo/2003/09/04/8143.php](http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2003/09/04/8143.php). Mayo 2006.
6. <http://www.pachalum.com/noticia05.html>. Julio 2005, Abril 2006.
7. Municipalidad de Pachalúm. **Plan estratégico participativo.** Versión electrónica. Guatemala, 2003.
8. *Water purification.* [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_purification](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_purification). Noviembre 2005.

9. *World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality.* 3<sup>a</sup> Edición, versión electrónica. Suiza, 2004  
[http://www.who.int/entity/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWQ2004web.p](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf)  
df. Enero 2006.

## **Tesis y/o trabajos de graduación**

1. Valdez Morataya, Marvin Waldemar. Informe general de servicios del ejercicio profesional supervisado. Trabajo de graduación ingeniero agrónomo. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2001.

## **Otros**

1. Instituto Geográfico Nacional – IGN- **Mapa cartográfico de la República de Guatemala.** Hoja Granados 2060 a escala 1:50,000 Guatemala: 1975.
2. Instituto Nacional de Estadística –INE-. **Censos 2002: XI de Población y VI de Habitación.** Guatemala. S.e. 2002.
3. Instituto Nacional de Estadística – INE-, **Mapa cartográfico del área urbana de Pachalúm (21), Quiché (14), escala 1:2,000,** Guatemala: 1993.
4. Municipalidad de Pachalúm, Quiché. **Proyecto de construcción de planta de tratamiento para aguas negras.** Especificaciones técnicas. S.l. s.e. s.a.



## Legislación

1. Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR- **Norma NGO 29001**. Guatemala: Ministerio de Economía, 2000.
2. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). **Norma Salvadoreña obligatoria para la calidad del agua potable**. El Salvador, 1999.
3. **Decreto 12-2002, Código Municipal**. Guatemala. S.e. 2002.
4. Dirección General de Salud Ambiental. **Norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización."** México, 1995.



## **ANEXOS**



**LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA SANITARIA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS) –CENTRO  
DE INVESTIGACIONES ( CII )  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO				O.T. No. 19522	INF. No. 22153
INTERESADO:		<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		PROYECTO: <b>CONTROL DE CALIDAD</b>	
RECOLECTADA POR:		María Alejandra Má Villatoro		DEPENDENCIA: U.S.A.C.	
LUGAR DE RECOLECCIÓN:		Entrada Tanque No. 1		FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: 2005-11-15; 11 h 30 min.	
FUENTE:		Nacimiento-captación		FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2005-11-15; 15 h 30 min.	
MUNICIPIO:		Pachalum		CONDICIÓN DEL TRANSPORTE: Sin refrigeración	
DEPARTAMENTO:		Quiché			
RESULTADOS					
1. ASPECTO: Claro		4. OLOR: Inodora		7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección) -- ° C	
2. COLOR: 01,00 Unidades		5. SABOR: -----		8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: 192,00 µmhos/cm	
3. TURBIEDAD: 00,21 UNT		6. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): 07,40 unidades			
SUSTANCIAS		SUSTANCIAS		SUSTANCIAS	
mg/L		mg/L		mg/L	
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,25	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	07,00	11. SÓLIDOS TOTALES	120,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS (F <sup>-</sup> )	00,03	12. SÓLIDOS VOLÁTILES	11,00
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	00,88	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	01,00	13. SÓLIDOS FIJOS	109,00
4. CLORO RESIDUAL	----	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,01	14. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,60
5. MANGANESO (Mn)	----	10. DUREZA TOTAL	116,00	15. SÓLIDOS DISUELTOS	102,00
ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)					
HIDROXIDOS mg/L		CARBONATOS mg/L		BICARBONATOS mg/L	
ALCALINIDAD TOTAL mg/L					
00,00		00,00		110,00	
				110,00	

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

OBSERVACIONES: Desde el punto de vista físico químico sanitario: DUREZA en Límites Máximos Permisibles. Las demás determinaciones arriba indicadas se encuentran en Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – A.W.W.A.- W.E.F. 20<sup>TH</sup> EDITION 2000, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo.

**Ing. César Alfonso García Guerra**  
DIRECTOR CII/USAC



**LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA SANITARIA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS) –CENTRO  
DE INVESTIGACIONES ( CII )  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO

O.T. No. 19522 INF. No. 22154

INTERESADO:	FACULTAD DE INGENIERÍA	PROYECTO:	CONTROL DE CALIDAD
RECOLECTADA POR:	María Alejandra Má Villatoro	DEPENDENCIA:	U.S.A.C.
LUGAR DE RECOLECCIÓN:	Domicilio particular	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	2005-11-15; 11 h 43 min.
FUENTE:	Tanques No 1 y No. 2	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO	2005-11-15; 15 h 30 min.
MUNICIPIO:	Pachalum	CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:	Sin refrigeración
DEPARTAMENTO:	Quiché		

**RESULTADOS**

1. ASPECTO: Claro	4. OLOR: Inodora	7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección) -- ° C
2. COLOR: 01,00 Unidades	5. SABOR: -----	8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA 171,00 μmos/cm
3. TURBIEDAD: 00,18 UNT	6.POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): 07,30 unidades	

SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,26	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	05,00	11. SOLIDOS TOTALES	107,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS ( F <sup>-</sup> )	00,05	12. SOLIDOS VOLÁTILES	09,00
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	01,76	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	01,00	13. SOLIDOS FIJOS	98,00
4. CLORO RESIDUAL	----	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,01	14. SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,20
5. MANGANESO (Mn)	----	10. DUREZA TOTAL	118,00	15. SOLIDOS DISUELTOS	91,00

**ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)**

HIDROXIDOS mg/L	CARBONATOS mg/L	BICARBONATOS mg/L	ALCALINIDAD TOTAL mg/L
00,00	00,00	100,00	100,00

OTRAS DETERMINACIONES

OBSERVACIONES: Desde el punto de vista fisico quimico sanitario: DUREZA en Límites Máximos Permisibles. Las demás determinaciones arriba indicadas se encuentran en Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29001.

**TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – A.W.W.A.- W.E.F. 20<sup>TH</sup> EDITION 2000, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.**

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo.

Ing. César Alfonso García Guerra  
DIRECTOR CII/USAC

*[Handwritten Signature]*





**LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA SANITARIA**  
**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS) –CENTRO**  
**DE INVESTIGACIONES ( CIH )**  
**DE LA FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12**

O.T. No. 19522		ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO		INF. No. 22155	
INTERESADO:	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:	<u>CONTROL DE CALIDAD</u>		
RECOLECTADA POR:	<u>María Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:	<u>U.S.A.C.</u>		
LUGAR DE RECOLECCIÓN:	<u>Entrada tanque No. 2</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2005-11-15; 11 h 53 min.</u>		
FUENTE:	<u>Nacimiento – captación</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO	<u>2005-11-15; 15 h 30 min.</u>		
MUNICIPIO:	<u>Pachalum</u>	CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:	<u>Sin refrigeración</u>		
DEPARTAMENTO:	<u>Quiché</u>				

**RESULTADOS**

1. ASPECTO: <u>Claro</u>	4. OLOR: <u>Inodora</u>	7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección) <u>-- ° C</u>
2. COLOR: <u>01,00 Unidades</u>	5. SABOR: <u>-----</u>	8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA <u>171,00 µmhos/cm</u>
3. TURBIEDAD: <u>00,22 UNT</u>	6.POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH): <u>07,20 unidades</u>	

SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,22	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	06,00	11. SOLIDOS TOTALES	110,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS ( F <sup>-</sup> )	00,05	12. SOLIDOS VOLÁTILES	10,00
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	01,76	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	01,00	13. SOLIDOS FIJOS	100,00
4. CLORO RESIDUAL	----	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,02	14. SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	01,20
5. MANGANESO (Mn)	----	10. DUREZA TOTAL	118,00	15. SOLIDOS DISUELTOS	91,00

**ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)**

HIDROXIDOS mg/L	CARBONATOS mg/L	BICARBONATOS mg/L	ALCALINIDAD TOTAL mg/L
00,00	00,00	106,00	106,00

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

OBSERVACIONES: Desde el punto de vista físico químico sanitario: DUREZA en Límites Máximos Permisibles. Las demás determinaciones arriba indicadas se encuentran en Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – A.W.W.A.- W.E.F. 20<sup>TH</sup> EDITION 2000, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo.

Ing. César Alfonso García Guerra  
DIRECTOR CIHUSAC

  
 Z. COCHINANTOS  
 Ing. Químico Col. 420  
 M. Sc. en Ingeniería Sanitaria





**LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA SANITARIA**  
**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS) –CENTRO**  
**DE INVESTIGACIONES ( CII )**  
**DE LA FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12**

O.T. No. 19522		ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO		INF. No. 22156	
INTERESADO:	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:	<u>CONTROL DE CALIDAD</u>		
RECOLECTADA POR:	<u>María Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:	<u>U.S.A.C.</u>		
LUGAR DE RECOLECCIÓN:	<u>Chorro comunal</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2005-11-15; 12 h 10 min.</u>		
FUENTE:	<u>Tanque No. 1</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO	<u>2005-11-15; 15 h 30 min.</u>		
MUNICIPIO:	<u>Pachalum</u>	CONDICIÓN DEL TRANSPORTE:	<u>Sin refrigeración</u>		
DEPARTAMENTO:	<u>Quiché</u>				
RESULTADOS					
1. ASPECTO:	<u>Claro</u>	4. OLOR:	<u>Inodora</u>	7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección)	<u>-- ° C</u>
2. COLOR:	<u>01,00 Unidades</u>	5. SABOR:	<u>-----</u>	8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	<u>193,00 µmhos/cm</u>
3. TURBIEDAD:	<u>00,23 UNT</u>	6. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH):	<u>07,30 unidades</u>		
SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L	SUSTANCIAS	mg/L
1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )	00,25	6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	06,00	11. SÓLIDOS TOTALES	118,00
2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	00,00	7. FLUORUROS (F <sup>-</sup> )	00,02	12. SÓLIDOS VOLÁTILES	07,00
3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	01,10	8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	01,00	13. SÓLIDOS FIJOS	111,00
4. CLORO RESIDUAL	----	9. HIERRO TOTAL (Fe)	00,01	14. SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	02,00
5. MANGANESO (Mn)	----	10. DUREZA TOTAL	124,00	15. SÓLIDOS DISUELTOS	102,00
ALCALINIDAD (CLASIFICACIÓN)					
HIDROXIDOS mg/L	CARBONATOS mg/L	BICARBONATOS mg/L	ALCALINIDAD TOTAL mg/L		
00,00	00,00	114,00	114,00		

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

OBSERVACIONES: Desde el punto de vista físico químico sanitario: DUREZA en Límites Máximos Permisibles. Las demás determinaciones arriba indicadas se encuentran en Límites Máximos Aceptables de normalidad. Según norma COGUANOR NGO 29001.

TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. – A.W.W.A.- W.E.F. 20<sup>TH</sup> EDITION 2000, NORMA COGUANOR NGO 4 010 ( SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 ( AGUA POTABLE Y SUS DERIVADAS), GUATEMALA.

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo.

Ing. César Alfonso García Guerra  
DIRECTOR CII/USAC

ZELANDO CALZADILLA  
 Ing. Químico Certificado  
 M. en Ingeniería Sanitaria





EXAMEN BACTERIOLOGICO		O.T. No. 19522	INF. No. A-195852
INTERESADO	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:	<u>CONTROL DE CALIDAD DE AGUA</u>
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>María Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:	<u>U.S.A.C.</u>
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Entrada Tanque No. 1</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2005-11-15; 11 h 30 min</u>
FUENTE:	<u>Nacimiento-captación</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	<u>2005-11-15; 15 h 30 min.</u>
MUNICIPIO:	<u>Quiché</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	<u>Con refrigeración</u>
DEPARTAMENTO:	<u>Pachalum</u>	SABOR:	<u>-----</u>
ASPECTO:	<u>Clara</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN	<u>No hay</u>
OLOR:	<u>Inodora</u>	COLOR RESIDUAL	<u>----</u>

**INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI – AEROGENOS)**

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>	+++++	+++++	+ + - -
01,00 cm <sup>3</sup>	+++++	+++++	- - - -
00,10 cm <sup>3</sup>	- - - -	- - - -	- - - -
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm <sup>3</sup>		240	4

**TÉCNICA “STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER” DE LA A.P.H.A. – W.E.F. 20<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.**

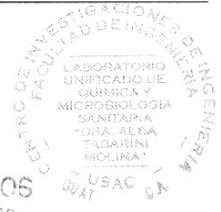
**CONCLUSION** Bacteriológicamente el agua NO ES POTABLE, según NORMA COGUANOR NGO 29001.

Guatemala, 2005-11-23

**Vo.Bo.**  
  
**Ing. César Alfonso García Guerra**  
**DIRECTOR CII / USAC**



**ZENaida GUZMÁN**  
 Ing. Químico Col. Nr. 420  
 M. Sc. en Ingeniería Sanitaria







<b>EXAMEN BACTERIOLOGICO</b>		<b>INF. No. A-195853</b>
<b>O.T. No. 19522</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DE AGUA</b>
INTERESADO	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>Maria Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Domicilio particular</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:
FUENTE:	<u>Tanque No. 1 y No 2</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:
MUNICIPIO:	<u>Quiché</u>	
DEPARTAMENTO:	<u>Pachalum</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:
SABOR:	<u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN
ASPECTO:	<u>Clara</u>	CLORO RESIDUAL
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. 20<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.**

**CONCLUSION** Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según NORMA COGUANOR NGO 29001.

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo. **Ing. César Alfonso García Guerra**  
**DIRECTOR CII / USAC**

**ZENY MOCH SANTOS**  
 Ing. Químico Cel. No. 420  
 M. Sc. en Ingeniería Sanitaria



**EXAMEN BACTERIOLOGICO**

O.T. No. 19522

INF. No. A-195854

INTERESADO	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:	<u>CONTROL DE CALIDAD DE AGUA</u>
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>María Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:	<u>U.S.A.C.</u>
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Tanque No. 2</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2005-11-15; 11 h 53 min</u>
FUENTE:	<u>Nacimiento-Captación</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	<u>2005-11-15; 15 h 30 min.</u>
MUNICIPIO:	<u>Quiché</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	<u>Con refrigeración</u>
DEPARTAMENTO:	<u>Pachalum</u>		
SABOR:	<u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN	<u>No hay</u>
ASPECTO:	<u>Clara</u>	CLORO 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 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. 20<sup>TH</sup>  
 NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

CONCLUSION Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según NORMA COGUANOR NGO 29001.

Guatemala, 2005-11-23

Vo.Bo.  
**Ing. César Alfonso García Guerra**  
 DIRECTOR CII / USAC



*[Signature]*  
 ZENY MICHIGAITOS  
 Ing. Químico Col. No. 420  
 M. Sc. en Ingeniería Sanitaria





**LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA SANITARIA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS  
HIDRÁULICOS (ERIS) – CENTRO DE INVESTIGACIONES (CI)  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12**

<b>EXAMEN BACTERIOLOGICO</b>		<b>INF. No. A-195855</b>	
<b>O.T. No. 19522</b>		<b>CONTROL DE CALIDAD DE AGUA</b>	
INTERESADO	<u>FACULTAD DE INGENIERÍA</u>	PROYECTO:	
MUESTRA RECOLECTADA POR	<u>Maria Alejandra Má Villatoro</u>	DEPENDENCIA:	<u>U.S.A.C.</u>
LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	<u>Chorro comunal</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:	<u>2005-11-15; 12 h 10 min</u>
FUENTE:	<u>Tanque No. 1</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	<u>2005-11-15; 15 h 30 min.</u>
MUNICIPIO:	<u>Quiché</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE:	<u>Con refrigeración</u>
DEPARTAMENTO:	<u>Pachalum</u>	SABOR:	<u>-----</u>
		SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN	<u>No hay</u>
ASPECTO:	<u>Clara</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. 20<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.**

**CONCLUSION** Bacteriológicamente el agua **ES POTABLE**, según NORMA COGUANOR NGO 29001.

Guatemala, 2005-11-23

**Vo.Bo.**

**Ing. César Alfonso García Guerra**  
**DIRECTOR CI/USAC**

**ZENÓN MUÑOZ SANTOS**  
Ingeniero Químico Col. No. 420  
M. Sc. en Ingeniería Sanitaria

**AGUA POTABLE. Especificaciones.**  
**COGUANOR NGO 29 001:99 1ª. Revisión**

Esta norma constituye la primera revisión a la norma COGUANOR NGO 29 001 AGUA POTABLE. Especificaciones, publicada en el Diario oficial del 18 de octubre de 1985, a la cual sustituye.

### 1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

### 2. NORMAS COGUANOR A CONSULTAR

COGUANOR NGO 4 010	Sistema internacional de unidades (SI)
COGUANOR NGO 29 011h2	Aguas. Ensayos físicos. Determinación del color método de referencia.
COGUANOR NGO 29 011h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de la turbiedad.
COGUANOR NGO 29 012h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza.
COGUANOR NGO 29 012h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro.
COGUANOR NGO 29 013h3	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Alcalinidad.
COGUANOR NGO 29 013h7	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro.
COGUANOR NGO 29 013h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Fluoruro.
COGUANOR NGO 29 013h18	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrato)
COGUANOR NGO 29 013h19	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrito).
COGUANOR NGO 29 013h21	Aguas. Determinación de constituyentes orgánicos no metálicos Oxígeno disuelto. Método de referencia.
COGUANOR NGO 29 013h23	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencial hidrógeno (pH).

### 3. DEFINICIONES

3.1. Aqua potable. Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.

3.2. Cloro. Es el elemento número 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

Nota 1. El cloro es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser de fácil utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles.

3.3. Límite máximo aceptable (LMA). Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

3.4. Límite máximo permisible (LMP) Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

3.5. Características físicas. Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad.

3.6. Características químicas. Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad.

3.7. Características bacteriológicas. Son aquellas características relativas a la presencia de bacterias, que determinan su calidad.

3.7.1. Grupo coliforme total. Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35 °C ± 0.5°C en un período de 24 h - 48 h,

características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. Para el caso de la determinación del grupo coliforme total empleando el método de membrana de filtración, se definirá como todos los microorganismos que desarrollen una colonia rojiza con brillo metálico dorado en un medio tipo endo (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 h a 35 °C.

3.7.2. Grupo coliforme fecal. Son las bacterias que forman parte del grupo coliforme total, que fermentan la lactosa con producción de gas a 44°C ± 0.2°C en un período de 24 h ± 2 h cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. En el método de filtración en membrana se utiliza un medio de lactosa enriquecido y una temperatura de incubación de 44.5 °C ± 0.2 °C en un período de 24 h ± 2 h. Al grupo coliforme fecal también se le designa como termotolerante o termorresistente.

3.8. Escherichia coli. Son las bacterias coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44°C ó 44.5°C con producción de gas, y que también producen indol a partir de triptofano.

Nota 2. La confirmación de que en verdad se trata de *Escherichia coli* se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de síntesis de acetilmetilcarbinol y de que no se utiliza el citrato como única fuente de carbón. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal.

#### 4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

##### 4.1. Características físicas.

Tabla 1. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)

(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto  
 (2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.

4.1.1. Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad de 100 µS/cm a 750 µS/cm a 25°C.

4.2. Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

(1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.  
 (2) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.  
 (3) En unidades de pH.

4.3. Agua clorada. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución

de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en la tabla 2 se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que esté "libre" y que sirva como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica.

4.4. Límites de toxicidad. En la tabla 3 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad.

Tabla 3. Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

4.5. Relación de las sustancias biocidas con sus respectivos límites máximos permisibles. Los nombres de las sustancias biocidas orgánicas sintéticas, así como el límite máximo permisible se describen en la tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de las sustancias biocidas (continuación)

Compuestos	LMP (en microgramos/litro)
<b>Insecticidas organoclorados</b>	
DDT + TDE + DDE	1.0
Hexaclorobenceno	1.0
Aldrín	0.03
Dieldrín	0.03
Heptacloro	0.2
Heptacloro epóxido	0.1
Lindano	0.2
Endrín	0.2
Metoxicloro	20
Clordano	0.2
Toxafeno	3.0
Pentaclorofenol	1.0
Dinoseb	7.0
<b>Ácidos fenoxi</b>	
2, 4-D	30
2, 4, 5-TP (silvex)	9
2, 4, 5-T	9
Mecoprop	10
Dicloroprop	100
MCPA	2
Dicamba	2
Picloram	500
Dalapón	200
Endotal	100
<b>Fumigantes</b>	
DBCP (1,2-dibromuro-3,3-cloropropano)	0.2
EBD (dibromuro de etileno)	0.05
1,2-dicloropropano	5.0
1,3-dicloropropano	20
<b>Triazinas</b>	
Atrazina	2
Simazina	2
<b>Acetanilidas</b>	
Alaclor	2
Metolaclor	10
Propaclor	10
Butaclor	10
<b>Carbamatos</b>	
Aldicarb	3
Sulfóxido de aldicarb	3
Sulfona de aldicarb	3
Carbofurán	5
Oxamil	200
Metomil	200
Bentazón	30
Molinato	6
Pendimetalina	20
Isoproturón	9
<b>Piretroides</b>	
Permetrina	20
<b>Amidas</b>	
Propanil	20
Piridato	100
Trifluralín	20
Diquat	20
Glifosato	700
Di (2-etil-hexil adipato)	400
Benzopireno	0.2
Hexaclorociclopentadieno	50
Di (etil-hexil) ftalato	6
PCB'S	0.5
<b>Organo fosforados</b>	
Etil paratión	0

Leptofós	0
Diazinón	0.1
Dimetoato	0.1
De los restantes órgano fosforados	no más de 0.1 cada uno

Tabla 5. Sustancias no deseadas. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisibles (LMP)

Característica	LMA, en miligramos/litro	LMP, en miligramos / litro
Fluoruro (F)	---	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	---	10
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	---	1

Tabla 6. Sustancias orgánicas con significado para la salud y su límite máximo permisible (LMP)

Compuesto	LMP, en microgramos / litro
Benceno	5
Cloruro de vinilo	2
Detergentes aniónicos	200
o-diclorobenceno	600
p-diclorobenceno	75
1,2-dicloroetano	5
1,1-dicloroetileno	7
cis-1,2-dicloroetileno	70
trans-1,2-dicloroetileno	100
1,2-dicloropropano	5
Estireno	100
Etilbenceno	700
Monoclorobenceno	100
Substancias fenólicas	2
Tetracloruro de carbono	5
Tetracloroetileno	5
Tolueno	1000
1,1,1-tricloroetano	200
Tricloroetileno	5
Xileno	10000

## 5. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLOGICAS.

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, fecales en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes.

### 5.1. Método de los tubos múltiples de fermentación

5.1.1. Para nuevas introducciones de agua, en la evaluación de las plantas de tratamiento y evaluaciones anuales, se debe proceder como se indica en las literales a) y b) siguientes:

- a) Prueba de 15 tubos. Se examinan 5 tubos con porciones de 10 mL, 5 tubos con porciones de 1 mL y 5 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.0 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano (véase anexo 2).
- b) Prueba de 9 tubos. Se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1 mL y 3 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 mL, lo cual se interpreta como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano (véase anexo 3). En el caso de análisis rutinarios y cuando se analizan cantidades grandes de muestras, se podrá emplear el método de los 9 tubos, pero en casos de discrepancia o inconformidad con los resultados obtenidos, deberá emplearse la prueba de los 15 tubos como método de referencia.

5.1.2. Para casos en los cuales ya se tiene un historial, se permiten las alternativas siguientes:



- a) 5 tubos con porciones de muestra de 10 mL. La ausencia de gas en todos los tubos, se expresa como número más probable menor de 2.2 coliformes en 100 mL de agua. Véase anexo 2.
- b) 10 tubos con porciones de muestra de 10 mL cada una, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 1.1 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra es adecuada para el consumo humano. Véase anexo 4.

5.2. Método por la membrana de filtración. El volumen de muestra de agua a utilizar con la membrana de filtración es de 100 mL. Se acepta como límite una colonia de coliformes totales y ausencia de *Escherichia coli* en 100 mL de agua. La ausencia de coliformes se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

Nota 3. De ser necesario se deberán analizar porciones de 1 mL, 0.1 mL y 0.01 mL a fin de diluir muestras muy contaminadas para la obtención de resultados que puedan ser interpretados más adecuadamente.

### 5.3. Límites

5.3.1. Método de los tubos múltiples de fermentación. Según se indique por las muestras que se examinen, la presencia de microorganismos del grupo coliforme, no debe exceder de los siguientes límites:

Tabla 7. Límites para el método de los tubos múltiples de fermentación, grupo coliforme

Quando se examinan porciones de 10 mL	No más del 10% deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme
No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10mL de una muestra normal, cuando ocurran:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En dos muestras consecutivas</li> <li>- En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras</li> <li>- En más de 5% de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras</li> </ul>

5.3.2. Método de las membranas de filtración. cuando se aplique este método el número de microorganismos del grupo coliforme no debe exceder los siguientes límites:

Tabla 8. Límites para el método de las membranas de filtración, grupo coliforme

La media aritmética de todas las muestras normales que se examinen en un mes no debe exceder de:	Un microorganismo/100 mL
El número de colonias por muestra normal no ha de exceder de 3/50 mL, 4/100 mL, 7/200 mL ó 13/500 mL en:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dos muestras consecutivas</li> <li>- En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras</li> <li>- Más del 5% de las muestras normales, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras</li> </ul>

5.4. Se establece el número de muestras en relación a la población servida de acuerdo a la tabla 7 siguiente.

Tabla 9. Frecuencias mínimas de la toma de muestras y análisis del agua para consumo humano en sistemas de distribución

Población servida en número de habitantes	Cantidad de muestras al año		
	Análisis E1	Análisis E2	Análisis E3
1 - 500	2	1	(1)
501 - 5 000	4	1	(1)
5 001 - 10 000	12	3	(1)
10 001 - 50 000	60	6	1
50 001 - 100 000	120	12	2
100 001 - 150 000	180	18	3
150 001 - 300 000	360	36	6
300 001 - 500 000	360 (2)	60	10
500 001 - 1 000 000	360 (2)	120 (2)	20 (2)
1 000 001 - 5 000 000	360 (2)	120 (2)	20 (2)

- (1) La frecuencia deberá ser determinada por las autoridades nacionales competentes.
- (2) Las autoridades nacionales competentes deberán esforzarse, de ser posible, por aumentar esta frecuencia.
- E1 Corresponde al programa de análisis básico, fácilmente ejecutable por cada laboratorio de control de calidad del agua autorizado. Los análisis en esta etapa de control son: coliforme fecal, cloro residual.
- E2 Corresponde al programa de análisis normal y comprende la ejecución de los análisis de la etapa anterior ampliado con: olor, sabor, color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad, cloruros, dureza, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro, manganeso.
- E3 Corresponde a un programa de análisis avanzado de agua potable. Comprende la ejecución de los análisis de la segunda etapa, ampliado con: aluminio, cobre, sodio, potasio, amonio, fluoruro, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, antimonio, plomo, selenio, sulfuro de hidrógeno, zinc, sólidos totales disueltos, desinfectantes, subproductos de la desinfección y sustancias orgánicas (plaguicidas) de significado para la salud.

## 6. METODOS DE ANALISIS

6.1. Las determinaciones de las especificaciones y características físico-químicas y microbiológicas del agua, indicadas en la presente norma, deben realizarse de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes; véase capítulo 2. En ausencia de normas COGUANOR podrán emplearse los métodos de la American Water Works Association.

## 7. MUESTREO

7.1. El muestreo para el análisis físico-químico y microbiológico del agua, indicadas en la presente norma, deben realizarse de acuerdo con las normas COGUANOR correspondientes; véase capítulo 2. En ausencia de normas COGUANOR podrán emplearse los métodos de la American Water Works Association.

## 8. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se han tomado en cuenta los siguientes documentos.

- a) Norma COGUANOR NGO 29 001. AGUA POTABLE. Especificaciones, 1985.
- b) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), 18<sup>th</sup> Edition, 1992.
- c) Organización Mundial de la Salud. Guías para la Calidad el Agua Potable, segunda edición, Ginebra. 1995.

9.2. Anexo 2

Tabla 11. Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan cinco porciones de 10 mL, cinco porciones de 1 mL y cinco porciones de 0.1 mL. (Continuación)

Número de tubos que dan reacción positiva				Número de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP	5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP
0	0	0	<2	1	1	0	4
0	0	1	2	1	1	1	6
0	1	0	2	1	2	0	6
0	2	0	4	2	0	0	4
1	0	0	2	2	0	1	7
1	0	1	4	2	1	0	7
2	1	1	9	5	0	1	30
2	2	0	9	5	0	2	40
2	3	0	12	5	1	0	30
3	0	0	8	5	1	1	50
3	0	1	11	5	1	2	60
3	1	0	11	5	2	0	50
3	1	1	14	5	2	1	70
3	2	0	14	5	2	2	90
3	2	1	17	5	3	0	80
4	0	0	13	5	3	1	110
4	0	1	17	5	3	2	140
4	1	0	17	5	3	3	170
4	1	1	21	5	4	0	130
4	1	2	26	5	4	1	170
4	2	0	22	5	4	2	220
4	2	1	26	5	4	3	280
4	3	0	27	5	4	4	350
4	3	1	33	5	5	0	240
4	4	0	34	5	5	1	300
5	0	0	23	5	5	2	500
5	0	1	30	5	5	3	900
5	0	2	40	5	5	4	600
				5	5	5	≥1600

9.3 Anexo 3

Tabla 12. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10 mL, 1 mL y 0.1 mL

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 mL cada uno	3 de 1 mL cada uno	3 de 0.1 mL cada uno	NMP
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	2	0	-
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	-
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	≥2400

## APÉNDICE

### **Muestra de cálculo para la aplicación de dosis correcta de hipoclorito usado en la desinfección:**

El volumen del tanque es de  $95 \text{ m}^3$ . Se desea obtener  $0.5 \text{ ppm}$  (equivalente a  $0.5 \text{ mg/L}$ ) de cloro libre. Además, se sabe que las tabletas de hipoclorito de calcio que se compran tienen  $60 \%$  de cloro libre. Se asume que el aumento de volumen provocado por la adición del hipoclorito no es considerable. La densidad del desinfectante es, según el proveedor,  $2.35 \text{ gr/cm}^3$ .

Para obtener  $1 \text{ ppm}$  de cloro libre, en  $1000 \text{ m}^3$  de agua, se necesitan  $1000 \text{ gr}$  de solución al  $100$  de cloro libre ( $1 \text{ ppm} = 1 \text{ gr /m}^3$  o  $\text{mg}$  por litro)

Entonces, para el tanque de  $95 \text{ m}^3$  y para obtener  $0.5 \text{ mg/L}$ , se necesitan  $47.5 \text{ gr}$  de solución de hipoclorito al  $100 \%$ . Como la solución primitiva solo contiene  $60 \%$ , se requieren entonces:

$$\frac{95 \text{m}^3 \cdot 0.5 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}}{0.60} = \frac{47.5}{0.60} = 79.17 \text{cm}^3$$

$$79.17 \text{cm}^3 \cdot 2.35 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 186.04 \text{gr}$$