



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

“DISPONIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE EN EL ÁREA  
URBANA DEL MUNICIPIO DE HUEHUETENANGO”

ING. QUÍMICO EDGAR GAMALIEL DE LEÓN HERNÁNDEZ

ASESORADA POR

M.A. M. Sc. RENATO GIOVANNI PONCIANO SANDOVAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISPONIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE EN EL ÁREA  
URBANA DEL MUNICIPIO DE HUEHUETENANGO”

TESIS

PRESENTADA AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEL MEDIO AMBIENTE

POR

ING. QUÍMICO EDGAR GAMALIEL DE LEÓN HERNÁNDEZ

ASESORADA POR

M.A. M Sc. RENATO GIOVANNI PONCIANO SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO  
AMBIENTE

GUATEMALA, AGOSTO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Secretaria: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas  
Vocal I: Inga. Glenda Patricia García Soria  
Vocal II: Inga. Alba Maritza Gerrero Spinola  
Vocal III: Ing. Miguel Ángel Davila Calderón  
Vocal IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL  
EXAMEN PRIVADO DE TESIS

Decano: Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Secretaria: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas  
Examinador: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Examinador: Ing. César Augusto Akú Castillo  
Examinador: Ing. Jorge Antonio Medrano García

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

“DISPONIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE EN EL ÁREA  
URBANA DEL MUNICIPIO DE HUEHUETENANGO”

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de  
Postgrado en febrero de 2008

Ing. Edgar Gamaliel de León Hernández

## AGRADECIMIENTOS

### A DIOS:

Por todas las oportunidades y bendiciones que cada día me ha dado. Para él todo honor y toda gloria.

### A MIS ASESORES

Doctores José María Quiroga Alonso y Asunción Acevedo Merino por su buena disposición e interés en todo momento para orientar el desarrollo de esta investigación. Para ellos un fraternal saludo desde aquí hasta España.

También al Maestro Renato Giovanni Ponciano Sandoval por el apoyo y motivación para lograr el desarrollo de este trabajo.

### A LAS INSTITUCIONES

Que han contribuido en la ejecución de este proyecto: Universidades de Cádiz, San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería.

## DEDICATORIA

- A MI PAPÁ  
Teodoro de León por ser ejemplo de perseverancia y lucha en la vida. Por su cariño y firme deseo de inculcar en nosotros el amor a Dios para conducirnos como personas de bien.
- A MI MAMÁ  
Graciela Etelvina Hernández Agustín por su afán de forjar en nosotros buenos principios y sobre todo responsabilidad. Aún cuando el creador del universo la haya llamado a su encuentro hace casi tres años, siempre ha estado en nuestro pensamiento y corazón. Para ella un saludo desde aquí hasta el cielo.
- A MIS HERMANOS  
Yuri, Giovanni y Xiomara, por compartir conmigo sus conocimientos y aprecio, pero sobre todo por su solidaridad en los momentos más difíciles que nos ha tocado vivir.
- A MIS SOBRINAS  
Yajaira y Heidi, por su cariño y alegría.
- A MI HIJO  
Giovanni, por ese corazón tan noble y especial que lo distingue.
- A MI TÍA CRIS  
Por esa valiosa ayuda que nos ha brindado en todo momento, especialmente por su aprecio hacia mi mamá.
- A MI TÍA FLORY  
Por sus buenos consejos y cariño.
- A MIS AMIGOS  
Compañeros de estudio y trabajo. A los camaradas de la célula.



	2.1.2.7	Pozos profundos	20
2.2		Contaminación del agua	20
	2.2.1	Alteraciones físicas	20
	2.2.1.1	Materiales sólidos	20
	2.2.1.2	Temperatura	21
	2.2.1.3	Color	22
	2.2.1.4	Olor y sabor	22
	2.2.1.5	Radiactividad	23
	2.2.2	Alteraciones químicas	23
	2.2.2.1	Presencia de sales inorgánicas en disolución	23
	2.2.2.2	Acidez y alcalinidad	23
	2.2.2.3	Sustancias tóxicas	23
	2.2.2.4	Existencia de materia orgánica contaminante	24
	2.2.3	Alteraciones biológicas	25
2.3		Indicadores de calidad del agua	25
	2.3.1	Indicadores fisicoquímicos	25
	2.3.1.1	Materiales en suspensión	25
	2.3.1.2	Color	26
	2.3.1.3	Turbidez	26
	2.3.1.4	Temperatura	26
	2.3.1.5	Potencial de hidrógeno	26
	2.3.1.6	Conductividad eléctrica	27
	2.3.1.7	Potencial de óxido-reducción	27
	2.3.2	Indicadores de contaminación orgánica	28
	2.3.2.1	Demanda bioquímica de oxígeno	28
	2.3.2.2	Demanda química de oxígeno	29
	2.3.2.3	Carbono orgánico total	29

2.3.2.4	Demanda total de oxígeno	30
2.3.2.5	Nitrógeno total	30
2.3.2.6	Nitrógeno amoniacal	30
2.3.2.7	Determinación de nitritos	31
2.3.3	Indicadores bacteriológicos	31
2.3.3.1	Organismos indicadores de contaminación fecal	31
2.3.3.2	Determinación de bacteriófagos	32
2.3.3.3	Bacterias sulfa-reductoras	32
2.3.3.4	Actinomicetos	32
2.4	Gestión del agua	33
2.5	El agua potable	34
2.6	Calidad microbiológica del agua	34
2.7	Normas guatemaltecas para agua potable	36
3.	METODOLOGÍA	39
3.1	Plan de trabajo	39
3.2	Materiales	42
3.3	Métodos y técnicas	44
3.3.1	Determinación de conductividad por electrometría: conductivimetría	44
3.3.2	Determinación de turbidez por Espectrofotometría: Método de la formacina	44
3.3.3	Determinación de color por colorimetría: Absorción a 436 nanómetros	45
3.3.4	Determinación de olor y sabor: Método de las diluciones sucesivas	45

3.3.5	Determinación de cloro libre residual: Método de la DPD	47
3.3.6	Determinación de cloruros por titulometría: Método argentométrico o de Mohr	47
3.3.7	Determinación de dureza por titulometría: Método complexométrico con EDTA	48
3.3.8	Determinación de pH por electrometría: Potenciometría	48
3.3.9	Determinación de sólidos totales disueltos: Gravimetría	49
3.3.10	Determinación de cationes por espectrofotometría de absorción atómica	49
3.3.11	Determinación de fluoruros por Colorimetría	50
3.3.12	Determinación de nitratos por espectrofotometría: Método ultravioleta selectivo	50
3.3.13	Determinación de Nitritos por espectrofotometría: Método de Griess	51
3.3.14	Coliformes totales– <i>E. coli</i> : Método de filtración por membrana.	51
4.	RESULTADOS	55
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
5.1	Caudal	61
5.2	Parámetros físicos	63
5.2.1	Temperatura	63
5.2.2	Conductividad eléctrica	64
5.2.3	Turbiedad	65
5.2.4	Color	66
5.2.5	Sabor y olor	67

5.3	Parámetros microbiológicos	68
5.4	Parámetros químicos	70
5.4.1	Cloro residual	70
5.4.2	Cloruros	71
5.4.3	Dureza total	72
5.4.4	Potencial de hidrógeno	73
5.4.5	Sólidos totales disueltos	74
5.4.6	Calcio	75
5.4.7	Zinc	76
5.4.8	Cobre	77
5.4.9	Magnesio	78
5.5	Sustancias no deseadas en el agua	80
5.5.1	Fluoruros	80
5.5.2	Hierro	80
5.5.3	Manganeso	81
5.5.4	Nitratos y nitritos	82
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXO A: Resultados Generales	95
	ANEXO B: Análisis estadístico	105

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

No.	NOMBRE	<u>No. Página</u>
1	Parámetros físicos para agua potable según COGUANOR	36
2	Parámetros químicos para agua potable según COGUANOR	37
3	Límites para las sustancias no deseadas en agua potable	37
4	Rangos para la intensidad de olor en agua potable	46
5	Rangos para la intensidad de sabor del agua potable	46
6	Resumen de métodos analíticos	53
7	Resumen de métodos analíticos (continuación)	54
8	Caudal medio en las estaciones investigadas	55
9	Valor promedio para las características físicas del agua	56
10	Características físicas del agua (continuación)	56
11	Valor promedio para las características químicas del agua	57
12	Características químicas del agua (continuación)	57
13	Concentración media para sustancias no deseadas en el agua	58
14	Sustancias no deseadas en el agua (continuación)	58
15	Resultados promedio del análisis bacteriológico	59
16	Resultados generales para el aforo (L/s) en cada estación	95
17	Resultados generales, estación Los Regadíos I	96
18	Resultados generales, estación Los Regadíos II	97
19	Resultados generales, estación El Manzano	98
20	Resultados generales, estación La Zeta	99
21	Resultados generales, estación Cinco Arroyos	100
22	Resultados generales, estación Los Aguacatillos	101
23	Resultados generales, estación Lo de Hernández	102
24	Resultados generales, estación San Sebastián	103
25	Resultados generales, estación Jumaj	104
26	Valores de $t$ para intervalos de confianza	105

## GRÁFICAS

No.	NOMBRE	<u>No. página</u>
1	Caudal promedio determinado en las estaciones estudiadas	62
2	Temperatura promedio	64
3	Conductividad eléctrica media	65
4	Turbiedad media en las estaciones muestreadas	66
5	Color del agua en las estaciones estudiadas	67
6	Estaciones de muestreo con presencia de <i>E. Coli</i>	68
7	Resultados para microorganismos del grupo coliforme	69
8	Concentración media de cloruros	71
9	Dureza total del agua	72
10	Potencial promedio de hidrógeno	74
11	Concentración promedio de sólidos totales disueltos	75
12	Concentración de calcio	76
13	Concentración promedio de zinc	77
14	Concentración promedio de cobre en el agua	78
15	Concentración de magnesio	79
16	Concentración promedio de hierro total	81
17	Concentración de manganeso	82
18	Concentración promedio de nitratos	83
19	Concentración promedio de nitritos	84

## FIGURAS

No.	NOMBRE	<u>No. página</u>
1	Mapa, departamento de Huehuetenango y sus municipios	8
2	Municipio de Huehuetenango	9
3	Municipio de Huehuetenango y sus comunidades	10
4	Estaciones de muestreo	40
5	Fotografía de algunas estaciones de muestreo	41

## LISTA DE SÍMBOLOS

DPD	Dietil-p-fenilenodiamina
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
Ha'	Hipótesis alternativa
Ho'	Hipótesis nula
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
mg/L	Miligramos por litro
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NGO	Norma Guatemalteca Obligatoria
$n$	Número de mediciones
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PEA	Población Económicamente Activa
pH	Potencial de hidrógeno
PLAMAR	Plan de Acción para la Modernización y Fomento de la Agricultura Bajo Riego
PMIRH	Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos
ppb	Partes por billón
SAS	Sistema de Información de Agua Potable y Saneamiento
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación
UFC	Unidad Formadora de Colonias
$\mu\text{S} / \text{cm}$	Microsiemens por centímetro
$\bar{x}$	Media aritmética
$x_i$	Cada una de las mediciones



## **GLOSARIO**

### **AGUA POTABLE**

Agua libre de contaminación, minerales o agentes infecciosos objetables y que se considera apta para el consumo humano.

### **BACTERIAS CRENOTHRIX**

Bacterias que se caracterizan por formar vainas o envolturas filamentosas que se asemejan a una fuente acuática. Se les encuentra en aguas carentes de oxígeno, donde se presume que oxidan metano, depositando hierro y manganeso.

### **BACTERIÓFAGOS**

Virus capaces de infectar bacterias. Se les encuentra en los desechos humanos, suelo y aguas residuales.

### **BIOCENÓISIS**

Conjunto de comunidades vegetales, animales y de microorganismos que se desarrollan en un biotopo determinado.

### **BRADICARDIA**

Descenso del ritmo cardiaco por debajo de 60 latidos por minuto.

### **GRUPO COLIFORME**

Comprende todas las bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a  $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en menos de 48 horas.

<b>HIPERMAGNESEMIA</b>	Enfermedad causada por el elevado consumo de sustancias que contienen magnesio. Se manifiesta con una disminución de la presión arterial, retención de orina y bradicardia.
<b>LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE</b>	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 implicar daño a su salud.
<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>	Valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no apta para consumo humano.
<b>METAHEMOGLOBINEMIA</b>	Afección infantil mortal relacionada con algunos tipos de cáncer. Conocida también como la enfermedad de los “niños azules”.
<b>SALMONELLA TIPHI</b>	Bacteria Gram negativa, no esporulada y móvil, que pertenece a la familia de las Enterobacteriáceas. Afecta a los seres humanos produciendo fiebre tifoidea.
<b>SISTEMA HOLDRIDGE</b>	Sistema de clasificación propuesto en 1978 para las zonas de vida en Guatemala, basado en la biotemperatura, precipitación pluvial y humedad.

## RESUMEN

Se realizó un estudio con el objetivo de establecer disponibilidad y características físicas, químicas y microbiológicas, del agua que actualmente utiliza para su consumo y actividades domésticas, la población del área urbana del municipio de Huehuetenango.

La investigación consideró como estación de estudio, cada uno de los nueve tanques que proveen del vital líquido a los habitantes del lugar. En cada fuente se determinó el caudal por el método volumétrico. El número de muestras en cada lugar fue de seis, consideradas en función del número de pobladores que actualmente se aproxima a 46.955, tal como lo estipulan las normas de la COGUANOR para un “análisis normal” de agua.

Todas las muestras fueron simples y puntuales, siguiendo el protocolo de muestreo de los “Standard Methods for the examination of water and wastewater”. La temperatura, potencial de hidrógeno y cloro residual se midieron in situ. Los otros parámetros se determinaron a nivel de laboratorio.

De acuerdo a los resultados se estableció en primer lugar, que la disponibilidad de agua para atender a los habitantes del área urbana del municipio, no es suficiente, puesto que las fuentes actuales proveen aproximadamente 48,73 litros/segundo, mientras que la población actual, considerando una dotación de 150 litros/persona/día, demanda un caudal de 81,52 litros/segundo, es decir que la población experimenta un déficit de 32,79 litros/segundo, que trae como consecuencia racionamiento del vital líquido.

En segundo lugar, los parámetros microbiológicos no cumplen con las normas propuestas, ya que se determinó la presencia de *E. coli* en dos de las estaciones, y la presencia de coliformes totales en todas las estaciones, con valores por encima de los recomendados.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos, en todas las fuentes se determinó concentraciones de manganeso y magnesio por encima de los límites máximos permisibles, como también la ausencia de cloro residual y fluoruros. El resto de parámetros ubican resultados entre los límites máximos aceptables y permisibles, lo cual no representa riesgo para la salud de las personas que consumen el agua.

La presencia de *E. coli*, coliformes totales, las concentraciones de manganeso y magnesio por encima de los valores recomendados, como la ausencia de cloro residual en el agua, se concluye que la población huehueteca no es abastecida con "agua potable", dejándolos potencialmente vulnerables a padecer enfermedades de origen hídrico.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar el caudal y calidad del agua potable que se abastece a la población urbana del municipio de Huehuetenango.

### **ESPECÍFICOS**

1. Aforar cada una de las fuentes que constituyen el sistema de distribución de agua potable en el área urbana del municipio, estableciendo si el aforo total es suficiente para atender a la población del lugar.
2. Determinar si los parámetros fisicoquímicos del agua cumplen con los límites máximos aceptables recomendados por la Comisión Guatemalteca de Normalización.
3. Identificar que parámetros superan el límite máximo permisible para agua potable estipulado por la COGUANOR.
4. Determinar si el agua cumple con las recomendaciones microbiológicas establecidas por las normas guatemaltecas para agua potable.
5. Ubicar si el agua presenta características de “dureza”.
6. Reconocer la presencia de cloro residual en el agua que se abastece a la población.



## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis nula:**

**Ho'**: El agua de las fuentes que constituyen el sistema de distribución de “agua potable” en el área urbana del municipio de Huehuetenango, no es suficiente para atender la población actual del lugar y tampoco satisface los parámetros de potabilidad establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normalización.

### **Hipótesis alternativa:**

**Ha'**: El agua de las fuentes que constituyen el sistema de distribución de “agua potable” en el área urbana del municipio de Huehuetenango, es suficiente para atender la población actual del lugar y cumple con los parámetros de potabilidad establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normalización.



## INTRODUCCIÓN

El número de habitantes en el área urbana del municipio de Huehuetenango, se ha incrementado significativamente en los últimos años, requiriendo un mayor suministro de agua potable para satisfacer sus necesidades domésticas y de consumo.

Los inadecuados o nulos procedimientos para potabilizar el agua que se provee a los pobladores de la ciudad, ha expuesto a los habitantes, al padecimiento de enfermedades infecciosas de origen hídrico, reportándose en el lugar, altos índices de morbilidad y mortalidad asociados a la ingesta de agua que contiene contaminación física, química y principalmente biológica, atendándose en los últimos cinco años más de 4.000 casos anuales en promedio, y en las primeras veinte semanas de 2007, un total de 2003 casos. Problema que también está asociado al creciente déficit de sistemas de recolección de aguas servidas y plantas de tratamiento en el lugar.

En la actualidad no existe un programa de monitoreo para la calidad y cantidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas en la región, solamente en la costa sur se han realizado monitoreos por parte del INSIVUMEH, pero el programa no se ha ampliado al municipio de Huehuetenango por limitación de recursos.

La falta de investigaciones con relación al recurso hídrico, requiere estudios que permitan establecer la disponibilidad de agua en el lugar, como también si ésta cumple con los requisitos de calidad para considerarla “potable”.

Esta situación ha motivado un estudio respecto a disponibilidad y parámetros de calidad, para el agua que actualmente se provee a la población urbana del municipio, con la finalidad de establecer, si esta cumple con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos mínimos, que garanticen su uso para consumo humano, como también, si el caudal es suficiente para atender a la población del lugar.

Para el efecto, la investigación consideró la realización de seis muestreos en cada uno de los nueve tanques de distribución que abastecen a la comunidad, habiéndose determinado en cada caso, caudal y parámetros de potabilidad, resultados que luego de compararlos con respecto a los límites estipulados por la norma COGUANOR NGO 29 001:98, han permitido establecer si la ciudad cuenta con suficiente agua para atender a sus habitantes, y sobre todo, si ésta cumple con los parámetros de calidad que garanticen su consumo, sin representar riesgos para la salud de las personas.

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1 EL AGUA: SITUACIÓN MUNDIAL**

El agua ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3.000 millones de años, siendo esencial para la vida, la salud, la dignidad humana, y también un factor limitante para la productividad de innumerables ecosistemas. Alrededor del 75% de la superficie de la tierra está cubierta por agua en estado líquido, ubicándose el 97% en los mares y océanos, pero por ser salada, no se puede utilizar ni para beber y tampoco para otros usos domésticos. El 3% del agua restante es dulce pero casi toda está en el hielo de los polos, glaciares, depósitos subterráneos o en lugares de difícil acceso. Esto hace que sólo un 0,003% de la masa total de agua del planeta, quede fácilmente aprovechable para uso humano, y aunque la cantidad es más que suficiente para satisfacer las necesidades de toda la población de la tierra, su distribución es muy irregular, y en la mayoría de países en desarrollo el “agua limpia” es un lujo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su informe OMS 2004, estima que a nivel mundial, más de 1.200 millones de personas, una de cada seis, no tienen acceso a agua potable, y que cada día mueren más de 25.000 personas por enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada, siendo los niños, los que más padecen este tipo de infecciones. El progreso sanitario ha sido lento, y unos 2.400 millones de personas, aproximadamente uno de cada 2,5 individuos, todavía no tiene acceso a instalaciones sanitarias mínimamente higiénicas.

Se calcula que para el año 2025, si la conducta humana de despilfarro y contaminación de las fuentes de agua dulce no cambia, un tercio de la población mundial no dispondría de agua suficiente para cubrir sus necesidades básicas.

Por otra parte, organismos como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su resolución 58/217 de 09/02/2004, han establecido que “el derecho al agua consiste en que cada persona tenga agua suficiente y sana para uso doméstico y personal”, habiéndose propuesto como meta del milenio, que 2.000 millones de personas tengan acceso al abastecimiento de agua potable y saneamiento básico para el año 2015.

Dada la importancia que a nivel mundial se le reconoce a este recurso, se plantea que el mismo debe ser un elemento catalizador para la cooperación y no una fuente de conflicto para las sociedades, ya que es el único medio de supervivencia y desarrollo sostenible para el siglo XXI. Sin embargo, a pesar de su importancia, el agua sigue siendo uno de los recursos peor utilizados, pues se desperdicia y contamina con gran despreocupación.

## **1.2 EL AGUA EN GUATEMALA**

En el contexto guatemalteco, en el año 2005 el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), estimó una población de 18,4 millones para 2015, y calculó que para alcanzar las metas del milenio, será necesario invertir 2.300 millones de dólares, suma que permitiría cubrir las necesidades de agua y saneamiento.

Esto significa la necesidad de realizar 1,9 millones de conexiones nuevas de agua potable en el área rural y 1,4 millones en el área urbana, mientras que en el caso del saneamiento la meta incluye 1,7 y 1,4 millones de conexiones en las zonas rural y urbana, respectivamente.

En la actualidad, el recurso hídrico en Guatemala considera cuatro grandes grupos de demanda: hidroeléctricas, riego, consumo industrial y humano.

En la generación de energía eléctrica, las principales hidroeléctricas del país utilizan alrededor de 5511 millones de m<sup>3</sup> por año.

Sin embargo es importante mencionar que si bien éstas requieren de una considerable cantidad de agua, también es cierto que la misma descarga nuevamente en la cuenca, por lo que no afecta el balance global.

Por otra parte, según información de la Unidad de Operaciones Rurales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en 2002, complementada con los datos del Plan de Acción para la Modernización y Fomento de la Agricultura Bajo Riego (PLAMAR), incluyendo los sectores cañero y bananero, la demanda total para riego es de 1.886 millones de metros cúbicos anuales.

Los departamentos con la mayor demanda se ubican en la costa sur y el oriente, siendo las cuencas de los ríos Achiguate, Motagua y Nahualate, las que más contribuyen al suministro de agua para riego a nivel nacional.

En el caso de las industrias, la demanda se concentra en el área metropolitana, utilizando alrededor del 44% del consumo industrial de agua a nivel nacional, mientras que en el interior del país, los departamentos cuya industria consume volúmenes considerables de agua son: Quetzaltenango, Escuintla y Suchitepéquez; no obstante, el consumo de agua en el área metropolitana es diez veces mayor que en éstos departamentos.

Las cuencas de los ríos Motagua y María Linda son las que tienen mayor participación en cuanto al suministro de agua para la industria, pues contribuyen con el 33,4% y 16,3% del volumen total del recurso utilizado en actividades industriales, respectivamente.

Por otra parte, la demanda anual de agua para actividades industriales en el departamento de Huehuetenango alcanza los 18.119.320 de metros cúbicos.

Consumo distribuido entre los sectores agroindustrial con 131.414 m<sup>3</sup>, embotelladoras y alimentos con 13.772.284 m<sup>3</sup>, mientras que en otras empresas se requiere 4.215.622 de m<sup>3</sup>, demanda que corresponde aproximadamente al 1,95% del total utilizado para actividades industriales en el país, estimado en 928.621.073 de metros cúbicos.

El crecimiento demográfico y la urbanización, han incrementado la demanda de servicios relacionados con el agua, entre los cuales destaca la demanda de agua potable. Según los porcentajes de cobertura por municipio que tiene el Sistema de Información de Agua Potable y Saneamiento (SAS), así como los datos de población de Guatemala, se estima que el consumo anual de agua potable en el país supera los 325 millones de m<sup>3</sup>, determinándose los valores más altos en el área metropolitana.

La oferta de agua bruta subterránea y superficial en Guatemala, se ha estimado que alcanza los 93.388 millones de m<sup>3</sup>, con un caudal ecológico de 23.347 millones de m<sup>3</sup>, mientras que el caudal contaminado asciende a 37.355 millones de m<sup>3</sup>, alcanzándose por lo tanto un caudal neto disponible de 32.686 millones de metros cúbicos. Por otra parte, la demanda doméstica, industrial, para riego e hidroeléctricas llega a totalizar 7.652 millones de m<sup>3</sup>, dando como resultado anualmente un excedente de 25.034 millones de metros cúbicos.

En el país, más del 50% de la población se abastece con agua subterránea, que presenta problemas de calidad debido a la presencia de sales de calcio, magnesio, arsénico, flúor, hierro, manganeso, nitratos, sulfatos y cloruros, mientras que la calidad del agua superficial se ve afectada principalmente por problemas de sedimentación y contaminación biológica, y en menor escala por contaminación química.

El mayor problema de contaminación en todo el territorio guatemalteco, proviene de los sistemas de drenaje de aguas servidas de la población, que son descargadas sin ningún tipo de tratamiento en los cauces de ríos y arroyos, contaminándolos con diferentes tipos de bacterias como, criptosporidio, giardia, campilobacter y otros causantes de diarrea humana, representando un peligro latente para la salud de los guatemaltecos, lo cual se evidencia con las estadísticas del Ministerio de Salud en los últimos años (2001–2003), reportándose cerca de medio millón de casos de diarrea a nivel nacional. (Perfil Ambiental de Guatemala, 2006)

Entre los años 2001 y 2004, el INSIVUMEH monitoreó la calidad de 32 ríos en distintas partes del país, habiendo ubicado 42 puntos de muestreo que reflejaron la calidad de las aguas superficiales, especialmente en cuanto a variables físicas y químicas se refiere.

De los estudios previos realizados, los resultados más relevantes entre las variables físicas, comparados con los límites permisibles para agua potable, establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normalización (COGUANOR), sobresale la turbidez, la cual evidenció los niveles más altos en los ríos Motagua, Coyolate y Guacalate, en donde se llegó a valores entre 1200 y 1500 NTU, sobre unos límites establecidos de 5 y 15 como LMA y LMP respectivamente.

En el caso de los sólidos totales disueltos, los resultados no sobrepasan los LMA y LMP de 500 y 1000 mg/L respectivamente, pues en todos los puntos de muestreo se determinó valores inferiores a 391 mg/L; mientras que los resultados de conductividad reportan valores inferiores al límite máximo permisible. (Perfil Ambiental de Guatemala, 2006)

Respecto a las variables químicas, el aluminio y manganeso sobrepasaron los valores permisibles en el río Motagua, en tanto que sustancias como el calcio, cobre, cloruro, magnesio, sulfatos, zinc, hierro y fluoruro, presentaron valores por debajo de los límites establecidos. (Perfil Ambiental de Guatemala, 2006)

### **1.2.1 INVERSIÓN PÚBLICA EN AGUA Y SANEAMIENTO**

La creciente demanda de los servicios públicos vinculados al agua, ha derivado en el desarrollo de diversas iniciativas de inversión, que son canalizadas al sistema nacional de planificación de inversiones públicas, establecido por la Secretaría General de Planificación (SEGEPLAN).

En el sector del agua se hace evidente la falta de una definida y coherente voluntad política, que se manifiesta en la ausencia o inestabilidad institucional, en la acumulación de conocimiento racional para la gestión eficiente del recurso. En este sentido no existe un plan nacional para atender los sistemas de agua y saneamiento en caso de un desastre, por lo que las instituciones nacionales recurren al diseño de planes de emergencia, durante la ocurrencia de uno de ellos o inmediatamente después de ocurrido el mismo.

Lamentablemente la inversión para el sector agua en el país ha sido limitada; por ejemplo, en 2004 se programaron 800 millones de quetzales para atender las necesidades de la población, pero sólo se presupuestaron 40 millones, y lo peor de todo, no se ejecutó absolutamente nada. (Base de datos Sistema Nacional de Inversión Pública, 2005)

Sin embargo, en la protección de las fuentes de recarga hídrica se ha logrado un avance relevante, con el Programa de Investigación en Hidrología Forestal, que el Instituto Nacional de Bosques (INAB) ha encaminado durante los últimos años.

El programa se inició con la identificación a nivel cartográfico de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica, buscando tanto proyectar inversiones como formular instrumentos de política, orientados a la restauración y protección del vínculo hidrológico forestal en estas tierras. El objetivo es proteger y conservar las tierras con aptitud preferentemente forestal, dentro de las cuales hay presencia de bosques. (Instituto Nacional de Bosques, 2005)

En esta línea, las municipalidades recibieron en el año 1988, a través del Decreto 58–88, el Código Municipal que les otorga competencia en la garantía de la prestación del servicio de agua potable, el saneamiento de las aguas residuales domésticas, el inventario de aguas y la protección de fuentes de agua.

En períodos anteriores se hizo un esfuerzo para establecer una Ley de Aguas, que permitiera darle jerarquía y competencia a la gestión del agua, creándose para ello la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que resultó de efímera vida, dada la fuerte oposición que se generó por diferentes intereses relacionados con la propiedad de las fuentes de agua, usuarios del recurso y entidades relacionadas con la gestión del vital líquido.

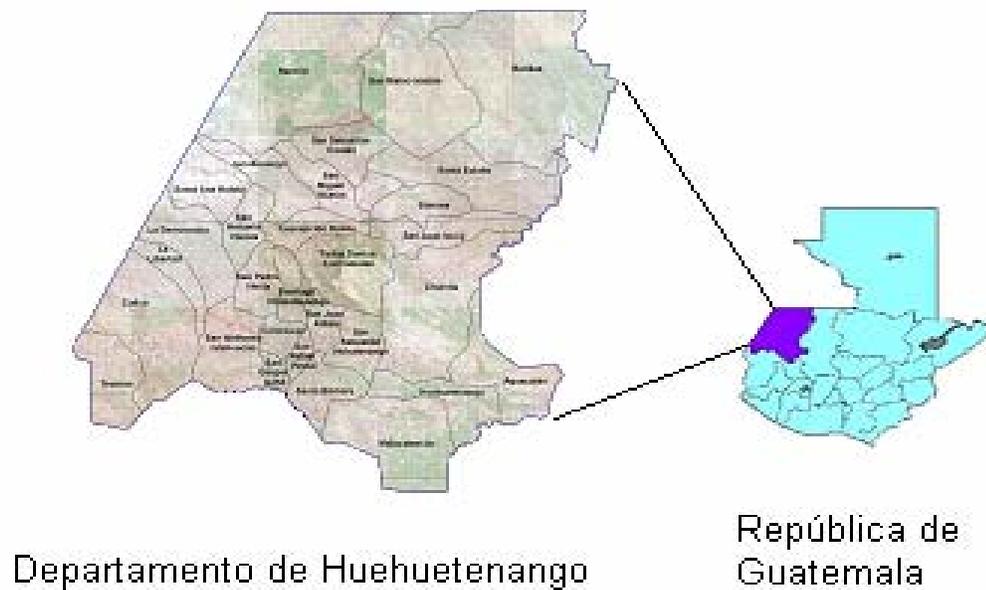
Finalmente, la nueva Ley del Ejecutivo, faculta al MAGA para establecer la instancia de discusión y consenso multisectorial en relación a la gestión de los recursos naturales, entre ellos el agua. Para desarrollar esta competencia se ha establecido un espacio de consenso alrededor del Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (PMIRH), el cual ha implementado un incipiente proceso de consulta y discusión para la formalización participativa de dicho plan, en el cual participan el sector productivo privado, organizaciones de ambiente y desarrollo, municipalidades, autoridades ambientales nacionales, autoridades de los lagos y otras autoridades públicas relacionadas con el agua.

En esta instancia se ha propuesto y discutido la pertinencia del uso de instrumentos económicos para la gestión de este recurso, reconociéndose la importancia de mejorar substancialmente las tarifas del agua a fin de que su precio recupere los costos directos, haciéndose necesario el desarrollo de todos los aspectos legales y administrativos que el uso del agua conlleva, ya que uno de los motivos por los que se desperdicia tanto este recurso, es su bajo precio, pues los consumidores solamente pagan una parte, a veces muy pequeña, de lo que cuesta su extracción y preparación para el consumo, por lo cual no se estimula el ahorro y uso restringido.

### 1.3 EL MUNICIPIO DE HUEHUETENANGO: SITUACIÓN ACTUAL

La república de Guatemala se divide en 22 departamentos. A 266 kilómetros de la capital, en la región nor–occidental del país, se encuentra el departamento de Huehuetenango, dividido en 32 municipios, como se puede observar en la figura No. 1.

Figura No.1: Mapa, departamento de Huehuetenango y sus municipios.



La cabecera departamental se ubica en el municipio también llamado Huehuetenango. Limita al Norte con los municipios de Chiantla y Aguacatán, al Sur con Malacatancito y San Pedro Jocopilas (municipio del departamento de Quiché), al Este con Aguacatán y al Oeste con Santa Bárbara y San Sebastián Huehuetenango.

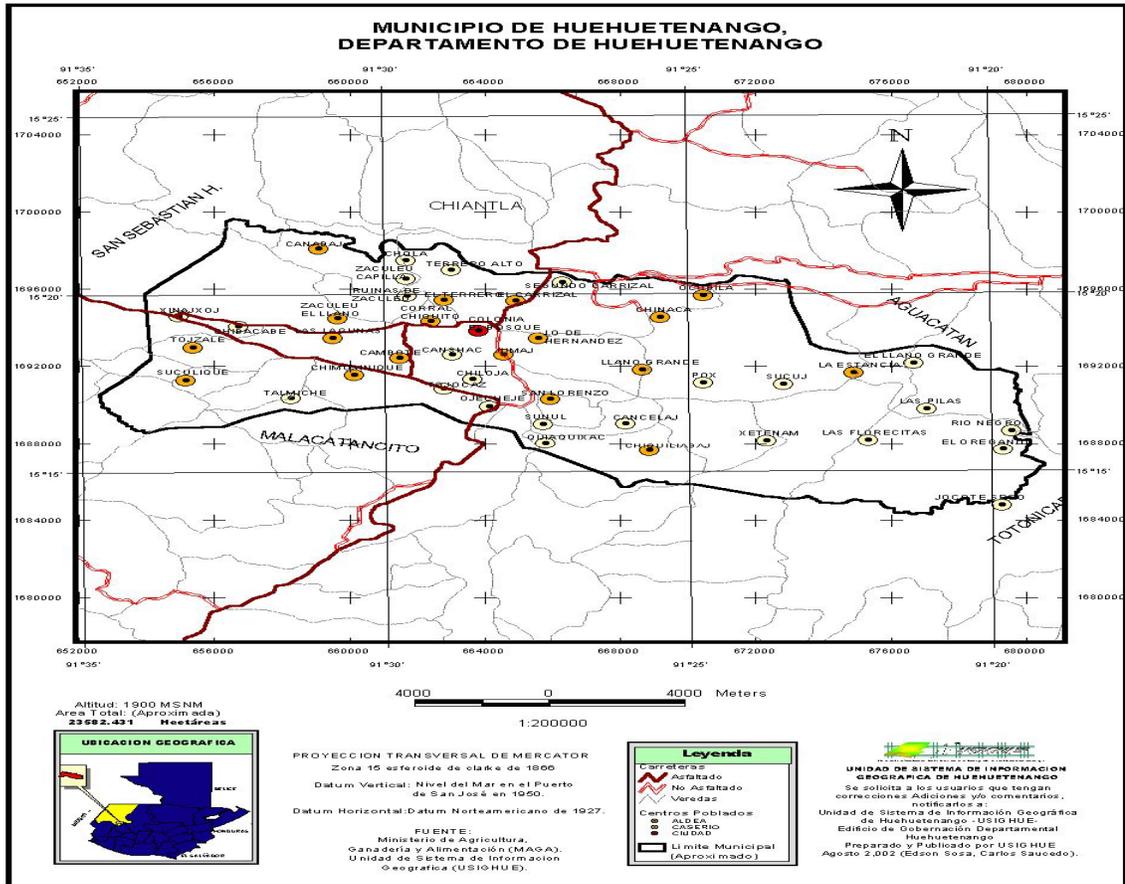
Figura No. 2: Municipio de Huehuetenango.



Se ubica en Latitud  $15^{\circ} 19' 14''$  y Longitud  $91^{\circ} 28' 13''$ , aproximadamente a 1900 metros sobre el nivel del mar, con una extensión territorial de 204 kilómetros cuadrados. El municipio está conformado por una región urbana dividida en 11 zonas, y un área rural que actualmente se integra por 18 aldeas y 24 caseríos, como se muestra en la figura 3.

Según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE), la población actual se aproxima a los 98.109 habitantes, de los cuales el 47,86%, aproximadamente 46.955 personas, residen en la zona urbana, y el 52,14% en el área rural. Con una tasa de crecimiento anual del 2,6%, se calcula que la población del municipio llegará a los 214.464 habitantes en el 2025.

Figura No. 3: Municipio de Huehuetenango y sus comunidades.



La población económicamente activa alcanza el 69%, y aproximadamente el 26,4% de ésta trabaja por cuenta propia, mientras que un 10% se ocupa en relación de dependencia. El ingreso económico de la población proviene de actividades comerciales y productivas, predominando la agricultura de autoconsumo.

Su régimen de lluvias va de mayo a noviembre, con una precipitación media anual de 1118,8 mm, distribuida en 102 días de lluvia, con temperaturas media anual de 19,3 Celsius, media máxima anual de 27 °C y media mínima anual de 6,5 °C, siendo los meses de abril y mayo los más cálidos del año, mientras que enero y febrero los más fríos.

Por la superficie del municipio corren los ríos Naranja, San Lorenzo, Sacumá, Las Culebras, La Viña y Selegua, también conocido como Zaculeu.

La humedad relativa promedio es del 74%, con una evapotranspiración potencial de 0,75, y vientos predominantes que van de Sur a Este, alcanzando una velocidad media de 7,07 kilómetros por hora. Su clima es predominantemente templado. De acuerdo a la clasificación de Holdridge, se ubica en la zona del Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bhMB), con suelos superficiales que van de color pardo a café.

Solamente la población urbana cuenta con servicio de agua potable, mientras que la población rural se abastece con agua de pozos artesanales construidos en sus propios terrenos; se calcula que 56% de la población urbana cuenta con servicios sanitarios conectados a la red de alcantarillado, mientras que del 44% restante, el 78% posee letrinas. (Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), INE, 2000)

Se estima que en la región donde se ubica el municipio de Huehuetenango, solamente el 4% de la población consume agua que ha sido tratada con cloro, 70% la hierve, mientras que el resto la consume sin tratamiento alguno. (Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), INE, 2000)

La falta de tratamiento adecuado al agua, previo a abastecer a la población huehueteca, se ha reflejado en los altos índices de morbilidad y mortalidad asociados a enfermedades transmitidas por el agua, tales como parasitismo intestinal y enfermedades diarreicas agudas, que según fuentes del Ministerio de Salud Pública, en los últimos cinco años alcanzó en la ciudad de Huehuetenango un promedio de 4.868 casos.

Por otra parte, el interés de las autoridades municipales se ha reflejado en la búsqueda y aprovechamiento de nacimientos de agua que puedan surtir a la ciudad, prestando poca atención al aspecto “potable”. Así en 2002, la falta de tratamiento del vital líquido de algunas de estas fuentes, llevó a las autoridades municipales de la ciudad huehueteca a enfrentarse a la justicia por no proveer a sus pobladores de agua que cumpliera con las normas de potabilidad.

Actualmente, el sistema que abastece de agua a la zona urbana de esta ciudad se divide en dos sectores, el sector Sur y el sector Norte.

El sector Sur está conformado por los tanques de distribución los regadíos I y II, que son abastecidos por los nacimientos ubicados en el caserío Los Regadíos, jurisdicción del municipio de Chiantla, que colinda con el municipio de Huehuetenango.

El sector Norte por su parte está constituido por los siguientes tanques de distribución:

- El Manzano, abastecido por nacimiento el Manzano, ubicado en la aldea El Manzano, zona 3 del municipio de Huehuetenango.
- Tanque de la Zeta, ubicado también en la zona 3, que es abastecido por nacimiento de la aldea la Zeta, municipio de Chiantla.
- Cinco Arroyos, abastecido por nacimiento de la aldea Cinco Arroyos, Chiantla.
- Los Aguacatillos, abastecido por pozo mecánico ubicado en aldea Los Aguacatillos, zona 2 del municipio de Huehuetenango.
- Lo de Hernández, abastecido por pozo mecánico ubicado en la colonia Herrera, sector Lo de Hernández, zona 7, municipio de Huehuetenango.

- San Sebastián, que se abastece con agua del pozo mecánico ubicado en el cantón San Sebastián zona 4, y
- Jumaj, abastecido por pozo mecánico ubicado en la aldea Jumaj, zona 6 del municipio de Huehuetenango.

De las 5320 comunidades que existen en Guatemala, solamente en 3118 de éstas existen sistemas de agua, de las cuales únicamente en 510 se ha detectado cloro residual, es decir que en 4810 comunidades, entre las que se encuentran las del municipio de Huehuetenango, no se ha detectado el desinfectante.

Para reducir la magnitud del problema se desarrolló en años recientes, un proyecto encaminado a surtir con equipos clorinadores al municipio de Huehuetenango, con ayuda de la Heart Springs de los Estados Unidos de América.

Sin embargo, algunos de estos equipos han dejado de funcionar por falta de mantenimiento o de infraestructura donde puedan protegerse de la intemperie, y otros por falta de energía eléctrica, lo que ha dejado en riesgo la salud de los habitantes, puesto que este es el único procedimiento utilizado para potabilizar el agua que se distribuye a la población.

En el municipio, la demanda de agua para consumo humano y otras actividades domésticas, se ha incrementado como consecuencia de la presión urbana, industrial y agroindustrial, a tal grado que las actuales fuentes de agua no son suficientes para surtir de este líquido a los pobladores, pues solamente existen los nacimientos actualmente explotados, aplicándose normalmente un racionamiento en algunas zonas del lugar. ( Prensa Libre, 6 de mayo 2006)

Para complicar el panorama, personas inescrupulosas sabotearon en el año 2006 algunas tuberías de conducción. (Noticia de Prensa Libre, 23 de marzo 2006)

Una fuente de este recurso podrían ser los ríos que pasan cerca de la ciudad, como el Sacumá, La Viña y las Culebras, pero, lamentablemente están contaminados con vertidos de aguas residuales industriales y domésticas, provenientes de poblados cercanos y de la misma ciudad, imposibilitando el uso para consumo humano, y más bien representan otro problema, pues no existe en el municipio plantas de tratamiento para aguas residuales.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 EL AGUA: CICLO HIDROLÓGICO

Afortunadamente el agua sigue un ciclo de evaporación, precipitación y vuelta a mares y océanos, por el que está continuamente purificándose, por lo cual si no se contamina o agota a un ritmo mayor del que necesita para limpiarse o para recargar sus lugares de almacenamiento, se tendría un suministro continuo y barato de agua con muy buena calidad.

El agua se mueve en la tierra según fuerzas verticales, básicamente, existiendo escorrentías superficiales, evaporación, precipitaciones, infiltración, intrusiones de aguas marinas, etc., y entre todas ellas, añadiendo la radiación solar como fuente de energía, constituyen un ciclo casi completo, que se representa de la manera siguiente:

$$\text{Precipitación} = \text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentías} + \text{Infiltración}$$

Este ciclo transcurre en la atmósfera, superficie de las masas y cursos de agua, en la superficie del suelo y en el subsuelo.

La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies de agua y otra cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra cantidad corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos, mientras que el resto penetra la tierra. Las fuentes de agua aprovechables en el ciclo hidrológico se clasifican como lluvia, agua de superficie y aguas subterráneas.

### **2.1.1 Lluvia**

El vapor de agua condensado en nubes o precipitado en forma de lluvia es prácticamente puro en altitudes muy grandes, y a medida que cae, la lluvia absorbe bacterias, esporas de vegetales, oxígeno, dióxido de carbono y otros gases del aire, así como polvo, humos y vapores.

En general, la cantidad de esas impurezas es pequeña; mayor al inicio de la precipitación y menor al final. La lluvia que cae en el campo es más limpia que la que cae en las ciudades. El agua de lluvia es suave, saturada en oxígeno, insípida y un poco corrosiva; debido a su suavidad y corrosividad no debe entrar en contacto con tuberías o recipientes de plomo.

### **2.1.2 Agua de superficie**

Cuando la lluvia cae sobre la tierra, una parte corre hacia los océanos, lagunas, lagos o corrientes de agua. La calidad del agua superficial depende del carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de la extensión y naturaleza del desarrollo realizado por el hombre, de la época del año y de las condiciones del tiempo; en las zonas calcáreas es más dura, pero menos corrosiva que el agua de regiones graníticas. Las fuentes de superficie en zonas muy pobladas están afectadas por las aguas de alcantarilla y desperdicios industriales.

#### **2.1.2.1 Corrientes de agua**

La formación de corrientes de agua se debe a los escurrimientos producidos por precipitaciones directas, que han corrido sobre la superficie de la tierra, al rebosamiento de lagos, pantanos y a la infiltración del agua a través de la tierra de las regiones montañosas hacia los valles.

La calidad y clase de los aluviones de superficie llevados en las corrientes dependen de las características del material de la superficie, de la inclinación de los declives en los valles, del área y tipo de bosques, así como de la clase de cultivos.

Las pendientes con fuerte declive provocan corrientes rápidas cuyo resultado es la erosión y un cambio en la calidad del agua por el arrastre de limo, mientras que los bosques retardan el escurrimiento y tienden a igualar el caudal de la corriente. Los minerales solubles de las corrientes proceden no sólo de los escurrimientos que absorben estas sustancias en la superficie del suelo, sino también, de la disolución en el agua subterránea de estos minerales durante la percolación a través de la tierra, aumentando su alcalinidad y dureza.

Desde el punto de vista sanitario, la polución por el hombre como resultado de sus actividades, es la más significativa. En regiones poco pobladas, la polución humana es relativamente indirecta, incidental o accidental, mientras que en las zonas pobladas, la polución por las aguas domésticas y los desechos industriales es directa, trayendo consigo gérmenes patógenos.

Como resultado final, la polución “natural” y la provocada por actividades antropogénicas, producen color, turbiedad, sabores, olores, dureza, bacterias y otros microorganismos en el agua, debiéndose someter a tratamiento el agua antes de ser utilizada en actividades domésticas o industriales. Se considera que el grado de deterioro de una corriente es aproximadamente proporcional a la densidad de población en la zona de la corriente de agua.

### **2.1.2.2 Lagunas y lagos naturales**

El agua que llega a las lagunas y lagos proviene de las corrientes tributarias.

En estos sitios de agua relativamente tranquila, los notables cambios en la calidad se deben a las fuerzas de autopurificación, cuyo grado y características dependen del volumen del cuerpo de agua en relación con su área de drenaje, de su forma y de las corrientes de aire.

Un largo almacenamiento permite la sedimentación de las materias en suspensión, la aclaración del color y la remoción de bacterias. Mientras que la acción de olas produce aguas turbias en las orillas, y en algunos casos el crecimiento de organismos microscópicos. Generalmente, en los lagos grandes, la dilución y la autopurificación aseguran la buena calidad del agua que se encuentra lejos de las orillas, a menos que se produzca una contaminación localizada.

#### **2.1.2.3 Embalses**

Los embalses formados con diques a través de valles cortados por corrientes, están sujetos a las mismas condiciones de los lagos y lagunas naturales. Normalmente, el agua de mejor calidad se encuentra a una profundidad mediana, pues el agua de la parte superior es propensa a desarrollar algas, mientras que en el fondo puede tener un alto contenido de dióxido de carbono, hierro, manganeso, y a veces, sulfuro de hidrógeno

#### **2.1.2.4 Aguas subterráneas**

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie terrestre se filtra en el suelo y se torna en agua subterránea. Durante su paso a través del suelo, entra en contacto con una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, algunas fácilmente solubles en el agua. Otras, como las que causan alcalinidad y dureza, son solubles en el agua que contiene dióxido de carbono, absorbido del aire o de las materias orgánicas en descomposición en la tierra.

La descomposición de materias orgánicas elimina también el oxígeno disuelto del agua que se filtra a través de ellas.

El agua exenta de oxígeno y con un alto contenido de dióxido de carbono, disuelve al hierro y manganeso, favoreciendo estos elementos el desarrollo de bacterias del género *Crenothrix*, y otros organismos similares en los depósitos de agua subterránea almacenada.

En general, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y más duras, que el agua de superficie de la región en la cual se encuentran.

En formaciones calizas son muy duras y propensas a formar depósitos en las tuberías, siendo relativamente menos corrosivas, mientras que, en las formaciones graníticas el agua es suave, con bajas concentraciones de minerales disueltos, y un contenido relativamente alto de dióxido de carbono libre, siendo además muy corrosiva.

#### **2.1.2.5 Manantiales**

El agua subterránea que corre en la parte superior de un estrato impermeable puede salir a la superficie en forma de manantial. Esto sucede generalmente cuando el estrato impermeable aflora debajo de una extensión elevada de material permeable. A veces, los manantiales brotan entre las grietas de las rocas. En general, la calidad del agua de los manantiales refleja la formación geológica del lugar en que surgen, y normalmente la cantidad que se obtiene es limitada, aprovechándose para pequeños poblados.

#### **2.1.2.6 Pozos poco profundos y galerías de infiltración**

Los pozos someros, son aquellos que se forman en depósitos superficiales de material permeable encima de un estrato impermeable, produciendo agua de buena calidad, que se extrae por aspiración.

Mientras que las galerías de infiltración se forman en capas poco profundas de terreno, infiltradas con agua y cerca de corrientes o pantanos. Generalmente, el agua proveniente de galerías tiene las mismas características de los pozos poco profundos de la misma región.

#### **2.1.2.7 Pozos profundos**

Se considera pozos profundos a aquellos que se excavan a más de 50 metros de profundidad. Frecuentemente atraviesan capas impermeables antes de alcanzar el estrato acuífero deseado. Al igual que en los pozos someros, las aguas provenientes de pozos profundos tienen características determinadas por la naturaleza de la superficie tributaria de captación, y por las formaciones geológicas atravesadas por el agua, siendo por lo general limpias y sin color, conteniendo hierro y/o manganeso, que al entrar en contacto con el aire se enturbian y tiñen por óxidos de los minerales. Así también, pueden contener cloruros, sulfatos y carbonatos que dificultan su tratamiento.

### **2.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La interacción del agua con la naturaleza y su empleo en actividades antropogénicas, provocan diversas alteraciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Su conocimiento ayuda a evitar que lleguen a ocasionar graves problemas.

#### **2.2.1 Alteraciones físicas**

##### **2.2.1.1 Materiales sólidos**

En múltiples ocasiones el agua actúa como vehículo de transporte de los materiales con que se encuentra a su paso, proceso que puede llevarse a cabo de distintas formas, en función de la naturaleza de las sustancias transportadas.

En primer lugar están las materias ionizables, que al tener contacto con el agua se disuelven, siendo ésta la forma en que son transportadas. Otro tipo de materiales, son aquellos que se presentan finamente divididos, siendo transportados en suspensión en el seno de la corriente de agua, como arcillas y limo, que son arrastradas por el agua como suspensión estable (disoluciones coloidales) o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra.

Por último están los materiales insolubles que presentan un tamaño excesivamente grande para poder ser suspendidos en el agua, siendo arrastrados por la corriente. La presencia de materiales sólidos en disolución y suspensión, le confieren al agua un grado de turbidez, tal que, en ocasiones pueden impedir el paso de la luz a partir de determinadas profundidades.

#### **2.2.1.2 Temperatura**

La temperatura del agua es un factor clave, que determina su comportamiento ante distintos tipos de alteraciones. El primer aspecto que depende de la temperatura, es el grado de solubilidad que presenten las distintas sustancias solubles. Por regla general, la solubilidad de la mayoría de las sales en el agua, aumenta como consecuencia de un incremento en la temperatura, mientras que los gases experimentan una variación opuesta, es decir que disminuye al producirse un aumento en la temperatura.

La variación de temperatura, también afecta la velocidad y el rendimiento, de casi todas las reacciones biológicas que se llevan a cabo en medio acuoso, puesto que todos los procesos en los que intervienen microorganismos como agentes biodegradantes, tienen un intervalo de temperaturas dentro del cual su rendimiento es óptimo. El incremento de la temperatura, acelera la putrefacción de materiales orgánicos. Así también existen temperaturas críticas más allá de las cuales no hay actividad biológica.

En este sentido, juegan un papel importante los vertidos provenientes de actividades industriales, pues llevan agua que ha sido utilizada en intercambiadores de calor, que al ser descargada directamente a corrientes superficiales, provocan graves desequilibrios en los ecosistemas. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14 °C.

#### **2.2.1.3 Color**

Una de las características propias del agua pura es que se presenta incolora, sin embargo, el agua que se encuentra a nuestro alrededor puede presentar diferentes tonalidades, originadas por distintas causas. Así por ejemplo, la presencia de algas le confiere una coloración verde.

El aspecto más relevante, es la coloración anormal por la existencia de sustancias disueltas o en suspensión. La naturaleza de las sustancias presentes varía de acuerdo al uso que se le haya dado anteriormente, así como de los materiales con que haya estado en contacto. La mayoría de contaminantes producen coloraciones características que facilitan su identificación y posterior tratamiento.

#### **2.2.1.4 Olor y sabor**

El agua pura es inodora e insípida, sin embargo, pueden aparecer olores y sabores debidos a la presencia de compuestos orgánicos como fenoles, hidrocarburos, cloro, amoníaco, materia orgánica en proceso de descomposición, o esencias liberadas por diferentes algas u hongos. En general, el agua con un olor determinado también tendrá un sabor característico. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos.

### **2.2.1.5 Radiactividad**

La existencia de isótopos radiactivos naturales, hace que el agua tenga una radiactividad natural determinada, que no supone peligro para la vida.

El problema surge, cuando el agua se utiliza en procesos industriales relacionados con actividades nucleares, ya que los vertidos contienen elevada radiactividad, representando para los seres vivos un peligro.

## **2.2.2 Alteraciones químicas**

### **2.2.2.1 Presencia de sales inorgánicas en disolución**

La existencia de sales minerales en el agua tiene dos causas. En primer lugar están las sales que el agua obtiene de forma natural al entrar en contacto con las rocas del suelo, y por otra parte, las sales aportadas por actividades humanas. Para determinar la concentración de estas sales, se realiza el análisis de dureza para el agua. La dureza puede provocar obstrucciones en las tuberías de conducción, mientras que su ausencia, confiere al agua un carácter corrosivo.

### **2.2.2.2 Acidez y alcalinidad**

El potencial de hidrógeno en el agua es muy importante, especialmente en los procesos que incluyen tratamiento biológico, pues los microorganismos que intervienen en estos procesos solo pueden desarrollarse en un medio cuyo pH está comprendido en un intervalo determinado, fuera de éste mueren y se interrumpe su actividad.

### **2.2.2.3 Sustancias tóxicas**

Las sustancias inorgánicas con carácter tóxico, comprenden un amplio grupo, generando cada una diferentes alteraciones, y precisando un tratamiento distinto.

Merecen especial atención los metales pesados como el mercurio, plomo, cadmio, cobre y asbesto, por ser tóxicos, inclusive a muy bajas concentraciones, ya que se van acumulando en los organismos hasta alcanzar una concentración letal.

Otra sustancia tóxica muy importante es el cloro, por ser el desinfectante más utilizado, sin embargo el uso inadecuado puede generar graves problemas. Cada sustancia tiene concentraciones límite por encima de las cuales puede resultar peligrosa para la vida.

#### **2.2.2.4 Existencia de materia orgánica contaminante**

La presencia de materia orgánica en el agua, es una de las alteraciones de mayor importancia, ya que se deriva de multitud de actividades, entre estas, la producción de aguas residuales urbanas, que le confieren un fuerte carácter reductor.

Los compuestos orgánicos son oxidados en el seno del agua, mediante procedimientos biológicos, requiriendo para ello grandes cantidades de oxígeno. Si no existe alguna fuente de oxígeno, el proceso recurrirá al elemento que se encuentre libre en el agua, de manera que si ésta no puede suplir este consumo mediante aportes externos, el nivel de oxígeno disuelto descenderá, provocando una disminución de la flora y fauna acuáticas.

Por otra parte, si las sustancias orgánicas no son biodegradables por vías oxidantes, permanecerán en el agua dando origen a una serie de alteraciones físicas, como formación de espumas, malos olores y sabores. Por ejemplo, cuando el agua contiene fenoles, estos se combinan con el cloro que se añade como desinfectante, formando clorofenoles, dando al agua muy mal olor y sabor.

### **2.2.3 Alteraciones biológicas**

Las alteraciones biológicas del agua son debidas al desequilibrio, provocado por un aumento del número de microorganismos presentes en esta. El grupo más importante dentro de estos microorganismos lo constituyen los protistas, que abarcan bacterias, protozoos y algas.

Las bacterias representan un grupo muy importante, ya que constituyen el sector de microorganismos encargados de oxidar la materia orgánica presente en el agua. Los protozoos tienen también un papel importante, pues se alimentan de bacterias y sirven por lo tanto, como un agente de equilibrio entre las poblaciones de microorganismos.

Mientras que la importancia de las algas reside en la capacidad fotosintética que les permite liberar oxígeno, con lo cual se mantiene la concentración de este en el agua.

## **2.2 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA**

### **2.3.1 Indicadores fisicoquímicos**

#### **2.3.1.1 Materiales en suspensión**

Las aguas residuales urbanas, agropecuarias e industriales, excepto las utilizadas como agua de refrigeración, están cargadas de materiales en suspensión. Estos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas de éste, produciendo una contaminación mecánica. En el caso de aguas superficiales, el origen de estos materiales es consecuencia de las actividades humanas y la erosión acelerada de los suelos que sigue a un proceso de deforestación, pastoreo excesivo, o mala práctica agrícola, dando lugar a la obstrucción de los cursos de agua y/o la colmatación de embalses.

### **2.3.1.2 Color**

Algunos productos de desecho, especialmente los que proceden de las industrias de curtido, papel y textiles, alteran considerablemente el color de las aguas, originando una grave contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno. La determinación del color se realiza básicamente, por dos métodos: el método del platino-cobalto, y la comparación con discos coloreados.

### **2.3.1.3 Turbidez**

La turbidez del agua se origina por la presencia de materias en suspensión finamente divididas, como las arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. La apreciación de la abundancia de estas materias mide el grado de turbidez, siendo un tanto mayor cuanto mayor es la contaminación del agua, por lo cual es un indicador de interés en el control de la eficacia de los procesos de depuración. La medición de turbidez generalmente se realiza utilizando el efecto Tyndall, la opacidad o el índice de difusión.

### **2.3.1.4 Temperatura**

La temperatura es relevante, ya que influye en la solubilidad y disociación de las sales, y sobre todo en la de los gases, y por lo tanto en la conductividad eléctrica y pH del agua. Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura, por lo que cualquier alteración de ésta modifica los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua.

### **2.3.1.5 Potencial de hidrógeno ( pH )**

El pH mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. Un valor alto indica una baja concentración de iones hidronio, y por tanto una alcalinización del medio.

Por el contrario un valor pequeño indica una acidificación. Sus variaciones tienen una repercusión importante sobre las biocenosis existentes. Su determinación se realiza por métodos colorimétricos o electrométricos.

#### **2.3.1.6 Conductividad eléctrica**

La conductividad, que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración y naturaleza de sustancias disueltas. Las sales minerales son, en general, buenas conductoras, mientras que, las materias orgánicas y coloidales tienen escasa conductividad. Por lo tanto, para aguas residuales, esta medida no da una idea precisa de la carga contaminante, aunque sí orienta en lo que se refiere a sus posibles usos en actividades agrícolas.

#### **2.3.1.7 Potencial de óxido–reducción ( rH )**

El potencial óxido–reductor se determina por medidas de potenciometría, y es un indicador que permite hacer observaciones interesantes en las estaciones de depuración. Las aguas residuales urbanas, recién recolectadas, tienen un rH aproximado a los 100 milivoltios (mV), mientras que un medio reductor como las fosas sépticas o putrefacciones en canalizaciones, un rH inferior a 40 mV.

Valores de rH comprendidos entre 15 y 25 mV, caracterizan un medio aerobio que favorece la oxidación de los compuestos orgánicos, mientras que valores entre 13 y 15 mV definen la zona de transición entre un medio aerobio y otro anaerobio. En esta zona vira el azul de metileno, siendo por lo tanto el reactivo que se utiliza en el test de putrefacibilidad de las aguas. Valores inferiores a los 13 mV caracterizan medios reductores, como aguas sépticas ( rH = 13) o aguas nauseabundas ( rH = 10 ).

### **2.3.2 Indicadores de contaminación orgánica**

La oxidación de los compuestos orgánicos para formar anhídrido carbónico y agua, implica un consumo del oxígeno que contiene el agua, mismo que es renovado a partir del  $O_2$  presente en el aire. Los compuestos carbonados sirven de alimento a los microorganismos aerobios, mientras que el nitrógeno oxidado (nitritos, nitratos, amoníaco), es utilizado por nitrobacterias y nitrosomonas.

Estas reacciones pueden ocurrir en un medio pobre en  $O_2$ , a expensas no sólo de los nitratos y nitritos, sino de los sulfatos, dando lugar a sulfuro de hidrógeno. Los métodos basados en el carbono, denominador común de la materia orgánica, son los más desarrollados, aunque precisan de una instrumentación algo compleja. La ventaja que presentan es que pueden ser aplicables a todos los compuestos orgánicos, permitiendo apreciar completamente la contaminación, sobre todo en presencia de compuestos difícilmente oxidables.

#### **2.3.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La DBO expresa la cantidad de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ), necesaria para biodegradar la materia orgánica. Este parámetro ha sido objeto de continuas discusiones, sin embargo, mejorando y precisando las condiciones de pH, temperatura y salinidad, constituye un método válido para el estudio de los fenómenos naturales de degradación de materiales orgánicos.

Es importante considerar que la oxidación de la materia orgánica no es el único fenómeno que ocurre en la biodegradación, a ésta se debe añadir la oxidación de los nitritos y de las sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno por los procesos de asimilación y de formación de nuevas células.

Por lo tanto, en la medida de este parámetro se producen variaciones según las especies de microorganismos, su concentración y edad, como también por la presencia de bacterias nitrificantes y protozoos consumidores de oxígeno que se alimentan de bacterias.

La DBO en la práctica, permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable. Este indicador se aplica principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras, para lo cual se utiliza el método instrumental o de dilución.

#### **2.3.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)**

La medida de la DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral, como nitritos, hierro ferroso, amoníaco, sulfuros y cloruros. La demanda puede ser muy rápida, como en el caso de los sulfitos en presencia de un catalizador, llamándosele en este caso demanda inmediata de oxígeno (DIO), o más lenta, a la cual se le denomina demanda de oxígeno por autooxidación (DAO).

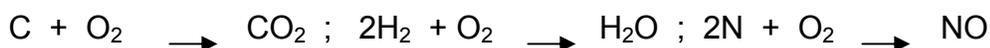
La DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto, y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales. La DQO no es confiable como indicador cuando hay presencia de cloruros.

#### **2.3.2.3 Carbono orgánico total (COT)**

El COT es un indicador de compuestos orgánicos, como celulosa, azúcares, aceites, etc., fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en las aguas naturales y residuales. Su medida facilita la estimación de la demanda de oxígeno ligada a los vertidos, estableciendo una correlación con la DBO y la DQO.

#### **2.3.2.4 Demanda total de oxígeno (DTO)**

La demanda total de oxígeno mide el consumo de este según las siguientes reacciones químicas, que se desarrollan por combustión catalítica de la materia orgánica:



#### **2.3.2.5 Nitrógeno total**

Una gran variedad de compuestos del nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en exceso, en el agua, causa eutrofización.

El nitrógeno orgánico presente en el agua, se encuentra formando parte de compuestos, como proteínas, polipéptidos y aminoácidos. En los análisis habituales se suele determinar el nitrógeno total Kjeldahl (NTK).

El método Kjeldahl permite la transformación en amoníaco de los compuestos de origen biológico, pero no la de compuestos nitrogenados de origen industrial como las oximas, carbamatos, hidracina y derivados, como también del nitrógeno procedente de los nitritos y nitratos. El nitrógeno total es la suma del nitrógeno presente en los compuestos orgánicos aminados y en el amoníaco, determinándose el nitrógeno orgánico por diferencia entre el nitrógeno total y amoniacal.

#### **2.3.2.6 Nitrógeno amoniacal**

En general, para determinar la concentración de iones amonio en aguas superficiales, domésticas y residuales poco cargadas, se utilizan los métodos: azul de indofenol, ionométrico, microdifusión o de flujo continuo, mientras que, para las aguas muy cargadas, los métodos volumétricos.

### **2.3.2.7 Determinación de nitritos**

El contenido de nitritos puede variar de acuerdo al origen del agua, por lo cual los métodos para su determinación pueden ser distintos. Así, para aguas que contienen NO<sub>2</sub> superior a los 50 microgramos por litro, se emplea el método del reactivo de Zambelli, y para contenidos inferiores se usa el método de la sulfanilamida, por presentar mayor sensibilidad.

### **2.3.3 Indicadores bacteriológicos**

Los análisis bacteriológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias que alteran y modifican la aptitud del agua para un determinado uso. Estas modificaciones complejas, pueden ser favorables o desfavorables según la finalidad de uso prevista. Así, la presencia de la bacteria *Salmonella typhi* asociada a las materias fecales, hace inaceptable el agua para usos de orden higiénico–sanitarios, pero en cambio debido a otras bacterias que facilitan la destrucción de la materia orgánica y que generalmente la acompañan, aumenta la capacidad autodepuradora del agua.

#### **2.3.3.1 Organismos indicadores de contaminación fecal**

Estos indicadores se aplican principalmente en el control de la calidad del agua destinada a usos domésticos y sanitarios. El control bacteriológico de la calidad higiénico–sanitaria del agua se realiza mediante la investigación de bacterias patógenas, exógenas y de origen fecal.

Se consideran organismos exclusivamente fecales, *Escherichia coli*, *coliformes fecales* y *estreptococos fecales*. El interés indicador de este grupo de organismos, obedece a la presencia de gran número de ellos en las materias fecales de los animales de sangre caliente, y a su resistencia a los agentes antisépticos, sobre todo, cloro y sus derivados.

Bajo la denominación general de *Streptococcus fecales*, se encuentran los que poseen la sustancia antigénica característica del grupo D de Lancefield, es decir: *Streptococcus faecalis*, *faecium*, *durans* y *equinus*. Una característica común de estas especies, es su fuerte resistencia frente a los inhibidores bacterianos.

Así mismo, es importante determinar el número de esporas de *Clostridium perfringens* sulfito-reductoras, pues este grupo de bacterias evidencia contaminación fecal, aunque su presencia no constituye una prueba absoluta. Sus esporas poseen contenido enzimático capaz de reducir los sulfitos a sulfuros.

#### **2.3.3.2 Determinación de bacteriófagos**

En el agua también pueden encontrarse bacteriófagos fecales, así como fagos específicos de bacterias, que poseen un antígeno, a menudo presente en bacterias patógenas, entre los que se encuentra el antígeno V de la *Salmonella*, utilizado para investigar el fago V. El análisis de Leptospiras, es un indicador de la contaminación por excrementos animales.

#### **2.3.3.3 Bacterias sulfa-reductoras**

Estos microorganismos generalmente se encuentran en las aguas salinas y dulces (pozos, ríos, lagos, etc.), y en el suelo. Su presencia en el agua está asociada a la existencia de materia orgánica, y su proliferación da lugar a la formación de gases malolientes, como el sulfuro de hidrógeno.

#### **2.3.3.4 Actinomicetos**

Los actinomicetos son bacterias que viven en colonias, tienen aspecto de filamentos largos y ramificados, son responsables del mal olor y un gusto desagradable en el agua potable.

## **2.4 GESTIÓN DEL AGUA**

El suministro de agua potable es una de las funciones más importantes en las comunidades modernas. Para que toda población disponga de agua con buena calidad, es necesaria una eficaz gestión en su uso y extracción, de forma que la explotación de este recurso se haga de forma sostenible, sin crear graves problemas de escasez a mediano plazo. Por una parte hay que asegurar la disponibilidad y sostenibilidad del suministro, con la construcción de embalses, el transporte por sistemas de tuberías y canales y la extracción de agua subterránea, estableciendo si es necesario someterla a tratamiento alguno, y en caso afirmativo, si ello es factible por la disponibilidad de tiempo, tecnología o financiamiento requerido.

En general las fuentes subterráneas de agua son preferibles porque requieren menos tratamiento, especialmente si se trata de agua procedente de manantiales cuyo flujo es movido por la gravedad, es decir, sin que haya necesidad de utilizar bombas de extracción, pero manteniendo vigilancia de todas las fuentes para evitar la explotación excesiva.

También los sistemas de riego que se utilizan tienen especial influencia en el ahorro del vital líquido, pues aproximadamente el 80% del agua consumida se emplea para riego.

Algunos sistemas que transportan agua por gravedad a través de surcos hechos en la tierra para encharcar campos, son especialmente derrochadores de agua, mientras que el riego por aspersión, el recubrimiento de los canales de transporte con cemento o plástico, la nivelación de los campos para que se encharquen homogéneamente, etc., ahorran agua significativamente.

Las modernas tecnologías de riego gota a gota que, en algunas ocasiones, están incluso controladas por computadoras para mantener el adecuado nivel de humedad, reducen el desperdicio de agua hasta los límites de alrededor del 15%.

En Guatemala, en materia de gestión de riesgos dentro del sector agua, la norma ha sido la reacción ante el deterioro de los sistemas de abastecimiento del vital líquido, no así la prevención para reducir la vulnerabilidad. A pesar de todo, el gobierno debe velar por el mantenimiento de la cantidad de agua para uso humano, y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, evaluando la calidad y posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas, ejerciendo control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental. Así mismo es relevante promover el uso integral y manejo racional de las cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de agua, investigando y controlando cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos.

## **2.5 EL AGUA POTABLE**

El agua potable se define como aquella que no contiene sustancias nocivas para la salud, como microorganismos o gérmenes patógenos, químicos tóxicos de naturaleza orgánica e inorgánica, y sustancias radiactivas, debiendo poseer una proporción determinada tanto de gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), como de sales inorgánicas disueltas. (OMS: Guías para la calidad del agua potable: vol 2)

## **2.6 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA**

El propósito principal de un sistema de abastecimiento de agua, es suministrar agua segura para el consumo humano.

El grado de tratamiento y la combinación de los procesos de potabilización, dependen tanto de la fuente de agua como de su calidad, variando según el contexto geográfico, hidrogeográfico y económico.

La transmisión de enfermedades de origen hídrico como cólera, shigellosis, diarrea, infecciones dérmicas y oculares, se debe tanto a la insuficiencia de agua para la higiene personal y doméstica, como a que los suministros están contaminados. El control sanitario del agua debe indicar bajo riesgo de contaminación fecal, es decir que no debe contener coliformes fecales por 100 mL de agua en el punto donde está la salida del líquido.

Las bacterias coliformes fecales, de las cuales más del 99% son *E. coli*, son indicadoras del nivel de contaminación de desechos humanos o animales en el agua, y de la posibilidad de que se encuentren presentes patógenos dañinos. Si hay coliformes fecales presentes, el agua deberá ser sometida a tratamiento.

En el caso de abastecimiento por tuberías, o de todos los suministros de agua en momentos de riesgo o cuando hay una epidemia de diarrea, el agua deberá ser tratada con algún desinfectante como por ejemplo cloro, de tal forma que siempre haya un residuo libre en el grifo de 0.2 mg por litro, con una turbiedad por debajo de 5 NTU, según recomendaciones de la OMS.

Aunque el cloro y sus derivados no son los desinfectantes perfectos, muestran algunas características que los hacen sumamente valiosos, como la acción germicida de amplio espectro, su propiedad residual, bajo costo, facilidad con que se consiguen y el equipo sencillo para su aplicación.

## 2.7 NORMAS GUATEMALTECAS PARA AGUA POTABLE

En Guatemala, la calidad del “agua potable” esta regida por la Norma NGO 29 001:98 de la COGUANOR, que es de cumplimiento Nacional.

En ella se establecen estándares para los parámetros físicos y químicos de calidad de agua, según los siguientes criterios:

- **Límites máximos aceptables (LMA):** que aseguran que el agua potable es de buena calidad.
- **Límites máximos permisibles (LMP):** que marcan los valores máximos que no se pueden sobrepasar para considerar el agua como potable.

Para los parámetros físicos, la norma considera los valores recogidos en la tabla 1.

Tabla No. 1: Parámetros físicos para agua potable según COGUANOR.

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
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)
Conductividad eléctrica	100 $\mu$ S/cm	750 $\mu$ S/cm
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)		

La misma norma también establece límites LMA y LMP para las características químicas que debe cumplir el agua potable, con la finalidad de garantizar su calidad para consumo humano. Estos límites recomendados se muestran en la tabla 2.

Tabla No.2: Parámetros químicos para agua potable según COGUANOR.

<b>Características</b>	<b>LMA</b>	<b>LMP</b>
Cloro residual libre	0,5 mg/L	1,0 mg/L
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	100,000 mg/L	500,000 mg/L
Potencial de hidrógeno (1)	7,0 – 7,5	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 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	50,000 mg/L	100,000 mg/L
(1) Unidades de pH.		

Para sustancias no deseadas en el agua, los límites recomendados se recogen en la tabla 3.

Tabla No. 3: Límites para las sustancias no deseadas en agua potable.

<b>Características</b>	<b>LMA, en mg/L</b>	<b>LMP, en mg/L</b>
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	---	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

En lo que respecta al análisis microbiológico, COGUANOR establece para el método de filtración por membrana, un número de colonias del grupo coliforme por muestra normal no mayor a 4 UFC/100 mL, en dos muestras consecutivas, en más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras, y la ausencia de *E. coli*.



### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 PLAN DE TRABAJO**

El estudio consideró como estación de trabajo cada uno de los tanques de distribución de agua que abastecen la población urbana del municipio de Huehuetenango. Para el efecto, en todas las estaciones se recolectó muestras de 1 litro, en frascos de vidrio color ámbar; mientras que las muestras para las determinaciones microbiológicas se recogieron en frascos estériles de 0,5 L.

Todas las muestras fueron simples y puntuales, y se recogieron de acuerdo al protocolo de muestreo del “Standard Methods for the examination of water and wastewater”.

Para obtener un valor representativo de los parámetros estudiados, el número de muestras en cada estación se estableció de acuerdo a lo estipulado por las normas COGUANOR, en función de la población urbana del municipio, que establecen para un número de habitantes entre 10.001–50.000, seis muestras anuales para un “análisis normal” de agua, que considera la ejecución del análisis de coliforme fecal, cloro residual, olor, sabor, color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro y manganeso. La investigación se complementó al incluir la determinación de sólidos totales disueltos, zinc, cobre, y fluoruros.

En cada estación se determinó el caudal por el método volumétrico. La temperatura, potencial de hidrógeno y cloro residual se determinaron in situ. Las demás características se establecieron a nivel de laboratorio.

Para determinar si las características del agua muestreada satisfacen los requisitos de calidad para “agua potable” recomendados por la COGUANOR, se comparó los límites máximos aceptables y permisibles estipulados por la Norma NGO 29 001:98, con la media de los resultados y correspondientes límites de confianza para cada parámetro a un nivel de significancia del 5%.

En la figura número 4 se puede observar el mapa correspondiente al municipio de Huehuetenango, en este se indica la ubicación aproximada de las estaciones que comprenden el estudio. Así también en la figura 5, se puede apreciar la fotografía de algunas estaciones.

Figura No. 4: Estaciones de muestreo.

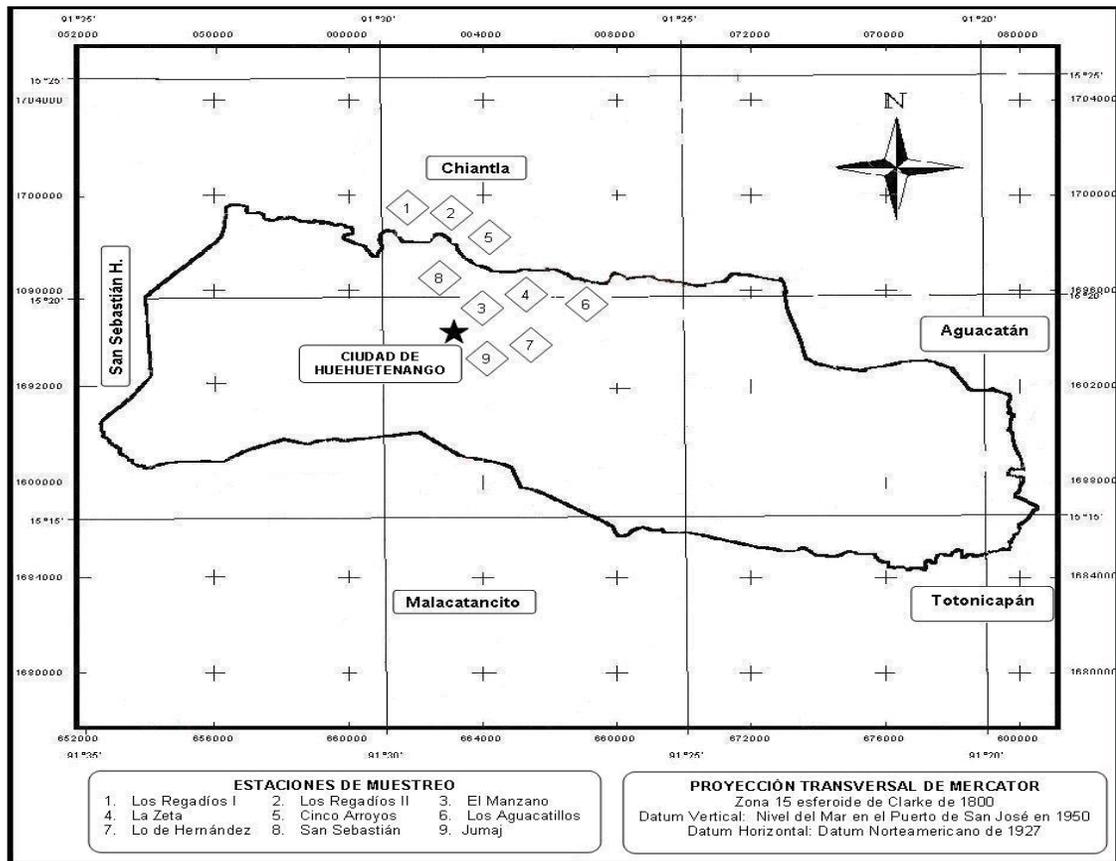


Figura No. 5: Fotografía de algunas estaciones de muestreo.

Estación Los Aguacatillos



Estación El Manzano



Estación Los Regadíos I



### **3.2 MATERIALES**

El análisis de los distintos parámetros, en las muestras de agua ha requerido la utilización de ciertos materiales, así como la aplicación de diversos métodos según las determinaciones requeridas. Respecto a los materiales utilizados en la investigación se menciona a continuación una lista de los mismos:

- Frascos de vidrio color ámbar con capacidad de 1 L
- Frascos estériles de 0,5 L
- Matraces de 100 mL
- Matraces erlenmeyer de 250 mL
- Matraz aforado de 50 mL
- Vasos de precipitado
- Pipetas de 25 mL
- Cajas Petri
- Embudo
- Bureta
- Kitasato
- Pinzas
- Crisol
- Balanza analítica
- Horno
- Potenciómetro
- Termómetro
- Mechero de gas
- Espectrofotómetro
- Incubadora
- Bomba de vacío
- Hielera
- Cubetas de plástico

- Cronómetro
- Conductivímetro
- Microscopio
- Etiquetas
- Bolígrafo
- Filtros de 0,45 micras
- Ácido nítrico concentrado
- Ácido sulfúrico
- Ácido clorhídrico
- Cromato de potasio
- Nitrato de plata
- Agua destilada
- Agua desionizada
- Formacina
- Patrones de color de 0 a 45 mg Pt+Co/L
- Reactivo DPD
- EDTA
- Tampón amónico
- Indicador negro de eriocromo t
- Acetileno
- Kit de Merck N° 1.14557.0001
- Sulfanilamida
- Solución de N-(1-naftil)-etilen-diamina
- Medio de cultivo m-Endo
- Medio de cultivo cromogénico

### **3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

Los métodos analíticos correspondientes para determinar los distintos parámetros en las muestras de agua comprenden:

#### **3.3.1 Determinación de conductividad por electrometría: Conductivimetría.**

La medida se realiza directamente en un conductivímetro. Previo a la realización de una serie de mediciones sobre las muestras se ha de realizar un calibrado, frente a patrones de conductividad de 1.413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 12,88  $\text{mS}/\text{cm}$ . Una vez calibrado correctamente el equipo, se coloca una porción adecuada de muestra en un vaso de precipitado que permita la inmersión de la celda de conductividad. La medida de conductividad aparece directamente en la pantalla del equipo.

#### **3.3.2 Determinación de turbidez por espectrofotometría. Método de la formacina.**

Como primer paso para la determinación de turbidez, se calibra el método con una disolución de formacina. A este compuesto se le asignan 400 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Para construir la recta de calibrado, en primer lugar hay que preparar una solución 1:10 (40 UNT) de la solución madre de formacina. En matraces aforados de 50 mL se introducen 1,2; 3,5; 5; 6,5; 8 y 9,5 mL de la disolución intermedia (40 UNT) de formacina enrasando con agua destilada. Se homogenizan las suspensiones por agitación suave, y se miden las correspondientes absorbancias a la longitud de onda de 400 nm, empleando un blanco de agua destilada.

Los resultados de las muestras de agua se obtienen por interpolación en la gráfica de calibrado de los valores de absorbancia medidas para la muestra, y se expresan en UNT.

### **3.3.3 Determinación de color por colorimetría. Absorción a 436 nanómetros.**

Cuando el color se determina sin filtrar se denomina color aparente y el color determinado sobre muestras filtradas se conoce como color real. Previamente a la medida de las muestras se tiene que construir una recta de calibrado a partir de la solución de color patrón de 750 mg Pt+Co/L. Los patrones de color de 0 a 45 mg Pt+Co/L se preparan por dilución en matraces de 100 mL.

Los resultados de las muestras de agua se obtienen por interpolación en la recta de calibrado de los valores de absorbancia medidas para la muestra, y se expresan en mg Pt+Co por litro de agua.

### **3.3.4 Determinación de olor y sabor: Método de las diluciones sucesivas.**

Se evalúa el olor y sabor del agua por un panel de ensayo mediante la comparación de la muestra o de diluciones de la muestra con un agua de referencia, que se describe como un agua carente de olor y sabor.

- Olor

El análisis se realiza a 25 °C de temperatura ambiente. El procedimiento consiste en realizar diluciones seriadas 1:2 del agua a examinar con el agua de referencia hasta que no presente ningún olor perceptible.

Si se percibe algún olor particular se indica su intensidad y naturaleza. La intensidad se expresa en rangos que van de 0 (agua sin dilución) a V (agua con las sucesivas diluciones) según la tabla siguiente.

Tabla No. 4: Rangos para la intensidad de olor en agua potable.

<b>INTENSIDAD</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
0	Sin olor perceptible
I	Olor sólo perceptible por especialista
II	Olor perceptible por el consumidor medio
III	Olor fácilmente perceptible
IV	Olor significativo
V	Olor muy significativo

▪ Sabor

El análisis se realiza a 25 °C. Las muestras se preparan a la temperatura que según los analistas resulte agradable para beber (se recomienda 15 °C). El proceso consiste en realizar diluciones seriadas 1:2 del agua a examinar con el agua de referencia (agua sin gusto) hasta que no presente ningún sabor perceptible. La intensidad se expresa en rangos que van de 0 (agua sin dilución) a V (agua con las sucesivas diluciones) según la tabla siguiente:

Tabla No. 5: Rangos para la intensidad de sabor del agua potable.

<b>INTENSIDAD</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
0	Sin sabor perceptible
I	Sabor sólo perceptible por especialista
II	Sabor perceptible por el consumidor medio
III	Sabor fácilmente perceptible
IV	Sabor significativo
V	Sabor muy significativo

### **3.3.5 Determinación de cloro libre residual por colorimetría, de acuerdo al método de la DPD.**

La determinación se realiza inmediatamente después de la toma de muestras, evitando en todo momento la exposición a la luz, la agitación y el calor. A 25 mL de muestra se le añade un sobre de reactivo DPD y se determina el cloro libre residual por comparación visual o mediante equipo colorimétrico adecuado. El resultado se expresa como mg/L de Cl<sub>2</sub> libre residual.

### **3.3.6 Determinación de cloruros por titulometría. Método argentométrico o de Mohr:**

Se colocan 100 mL de agua problema en un matraz erlenmeyer de 250 mL, se ajusta el pH entre 7 y 10 con ácido sulfúrico 1 N o sosa 1 N, si la muestra no se encontrase en ese rango de pH, y se añade 1 mL de solución indicadora de cromato potásico.

Se valora con nitrato de plata 0,01 N hasta que aparezca el primer color pardo-rojizo permanente. La concentración de cloruros se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{mg/L Cl}^{-} = f * ( V - V' ) \times N \times 35,45 \times 1000 / \text{mL muestra problema}$$

siendo:

**f**: factor del AgNO<sub>3</sub> 0,01 N

**V**: mL de nitrato de plata usado para la valoración de la muestra

**V'**: mL de nitrato de plata gastados para el blanco

**N** = 0,01 (normalidad del nitrato de plata)

### **3.3.7 Determinación de dureza por titulometría: Método complexométrico con EDTA.**

En primer lugar se selecciona un volumen de muestra que requiera menos de 15 mL de EDTA en la valoración (usualmente 25 mL). A continuación se diluye hasta unos 75 mL finales con agua MQ y se ajusta el pH de la muestra hasta  $10 \pm 0,1$  con la adición gota a gota de tampón amónico.

Posteriormente se añaden unas 15 gotas de solución indicadora de negro de eriocromo t (NET). Por último se añade EDTA desde la bureta hasta que desaparezcan los matices rojizos dando lugar a una tonalidad azul nítida. La dureza expresada como mg de CaCO<sub>3</sub>/L se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\text{mg/L CaCO}_3 = (A \times B \times 1000) / V$$

siendo:

- A: mL de EDTA -Na<sub>2</sub> gastados en la titulación
- B: mg CaCO<sub>3</sub> equivalentes a 1 mL de titulante EDTA (1 para EDTA 0,01 Molar)
- V: mL de muestra empleados en la determinación

### **3.3.8 Determinación de pH por electrometría: Potenciometría.**

La medida se realiza directamente en un pH-metro. Previamente a la realización de las mediciones sobre las muestras se ha de realizar un calibrado, frente a patrones de 7,01 y 4,00. Una vez calibrado correctamente el equipo, se coloca una porción adecuada de muestra en un vaso de precipitado que permita la inmersión de la membrana del electrodo de pH. La medida de pH aparece directamente en la pantalla del equipo.

### **3.3.9 Determinación de sólidos totales disueltos por gravimetría. Secado a 103 – 105 °C.**

Se evapora durante 24 horas un volumen adecuado (debe proporcionar un residuo entre 2,5 y 200 mg) de muestra en un crisol pesado y secado a peso constante en una estufa a 103–105 °C. Una vez transcurrido este tiempo se debe enfriar el crisol en un desecador y pesarlo. Esta operación se deberá repetir hasta obtener un peso constante. El aumento de peso sobre el del crisol vacío representa el contenido en sólidos totales. Los resultados se expresan en mg de sólidos totales/L.

### **3.3.10 Determinación de cationes: Ca, Zn, Cu, Mg, Fe, Mn, por espectrofotometría de absorción atómica.**

Inicialmente la muestra es sometida a un pretratamiento de filtración a través de un filtro con tamaño de poro de 0,45 micras y acidificación hasta pH 2 con HNO<sub>3</sub> suprapuro.

El resultado será el contenido en metales, en la fracción disuelta. Previamente habrá que seleccionar el método adecuado para cada uno de los metales (absorción atómica de llama, método de extracción, vapor frío...), de acuerdo al parámetro que se quiera determinar y su concentración.

El Ca, Zn, Cu, Mg, Fe y Mn se miden por espectrofotometría de absorción atómica de llama. La determinación directa es una llama de aire-acetileno. Para la determinación de bajas concentraciones de Al y Be se realiza aspiración en una llama de óxido de nitrosa-acetileno, mientras que la técnica del vapor frío es utilizada para determinar Hg. Cuando se desea determinar el contenido total (es menos frecuente) se deberá realizar una digestión a la muestra de agua. Antes de proceder al análisis de las muestras se tendrá que construir rectas de calibrado para cada uno de los parámetros que se quiera determinar.

### **3.3.11 Determinación de fluoruros por Colorimetría: Método con alizarin complexona y lantano (III) (KIT de Merck N° 1.14557.0001)**

Se pipetea 5 mL de agua problema y se añaden sobre un tubo de reacción del Kit. Se añade 1 dosis del reactivo F-1K. Posteriormente se mezcla vigorosamente (utilizando agitadores) y se espera 5 minutos. Luego se mide la absorbancia a 620 nm utilizando como blanco óptico un ensayo de reactivos con agua MQ.

Como primer paso se tiene que construir una gráfica de calibrado para patrones de fluoruro de concentración comprendida entre 0,15 y 1,5 ppm preparados a partir de la disolución intermedia de 5 ppm de fluoruro. Incluir un blanco de agua MQ. Los resultados se expresan como mg/L de  $F^-$ .

### **3.3.12 Determinación de nitratos por espectrofotometría: Método ultravioleta selectivo.**

Sobre 50 mL de muestra transparente, se añade 1 mL de solución de HCl 1 N y se mezcla bien. Posteriormente se lee la absorbancia en cubeta de cuarzo frente a agua bidestilada, ajustada a absorbancia cero. Se utiliza la longitud de onda 220 nanómetros para obtener la lectura  $NO_3^-$  y 275 nanómetros para determinar la interferencia debida a materia orgánica disuelta.

En primer lugar se debe construir la recta de calibrado mediante la preparación de estándares de calibrado en el rango de 0 a 20 mg  $NO_3^-$  /L por dilución. Para muestras y patrones, deben restarse dos veces la absorbancia leída a 275 nanómetros de la lectura a 220 nanómetros, para obtener la absorbancia debida a  $NO_3^-$  (Si el valor de corrección supera el 10% de la lectura a 220 nanómetros, no es conveniente utilizar este método). El resultado se expresa en mg/L de  $NO_3^-$ .

### **3.3.13 Determinación de Nitritos por espectrofotometría: Método de Griess.**

Se pipetea un volumen de 25 mL de muestra en un matraz aforado de 50 mL, y se añade agua MQ hasta un volumen aproximado de 40 mL. Posteriormente se añade 1 mL de disolución de sulfanilamida, se agita vigorosamente y se espera durante cinco minutos. Transcurrido este tiempo se añade 1 mL de disolución de N-(1-naftil)-etilen-diamina, se enrasa con agua MQ y se deja en reposo durante 10 minutos tras los que se efectúan las lecturas en el espectrofotómetro a 543 nm frente a una disolución de referencia preparada de forma similar con agua MQ (blanco).

Previamente se tiene que construir la recta de calibrado con patrones de nitritos de concentración comprendida entre 10 y 100 ppb  $\text{NO}_2^-$ . Los resultados se expresan en  $\mu\text{g/L}$  de  $\text{NO}_2^-$ .

### **3.3.14 Coliformes totales–*E. coli*, por el método de filtración por membrana.**

El procedimiento consiste en filtrar la muestra de agua a través de una membrana cuadrículada y estéril de 0,45 micras de tamaño de poro en donde quedan retenidas las bacterias fecales. Posteriormente se deposita la membrana en una caja Petri que contiene el medio de cultivo adecuado y selectivo al microorganismo que se desea determinar.

Pasado el tiempo de incubación adecuado, a la temperatura óptima de crecimiento para cada microorganismo, se efectúa el recuento.

El método es el siguiente: con unas pinzas estériles se coloca la membrana filtrante sobre la rampa de filtración. A continuación se coloca un embudo estéril en la rampa de filtración al que se añade 100 mL del agua problema.

Se abre el dispositivo que permite la filtración y una vez haya pasado toda la muestra se lavan las paredes del embudo con agua tamponada estéril. Se retira el embudo y con las pinzas estériles se coge la membrana filtrante depositándola en una caja Petri que contenga el medio de cultivo, cuidando de que no queden burbujas entre la membrana y el medio. Por último se deposita en posición invertida en la estufa de cultivo.

Pasado el tiempo adecuado se procederá al recuento de las colonias sobre la membrana. El resultado se expresa como unidades formadoras de colonias por 100 mL de muestra (UFC/100mL).

#### Coliformes totales

- Medio de cultivo: m-Endo al que se añade etanol para controlar el crecimiento de las colonias.
- Temperatura de incubación: 37 °C.
- Tiempo de incubación: 24 horas.

Transcurrido el tiempo de incubación se cuentan todas las colonias de color verde recubiertas de brillo metálico que hayan crecido sobre la membrana.

#### *E. coli*

- Medio de cultivo: medio cromogénico.
- Temperatura de incubación: 37 °C.
- Tiempo de incubación: 24 horas.

Transcurrido el tiempo de incubación se cuentan todas las colonias de color azul que hayan crecido sobre la membrana.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros establecidos en las muestras de agua, así como los métodos analíticos empleados en su determinación con sus referencias bibliográficas.

Tabla No. 6: Resumen de métodos analíticos.

<b>Parámetro</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
Conductividad	Electrometría: Conductimetría	APHA-AWWA-WPCF: Método 2510 B Norma UNE-EN-ISO 27888
Turbidez	Espectrofotometría: Método de la formacina	APHA-AWWA-WPCF: Método 2130 B Norma UNE-EN-ISO 7027
Color	Colorimetría: Absorción a 436 nm	APHA-AWWA-WPCF: Método 2120 C Norma UNE-EN-ISO 7887
Olor – Sabor	Método de las diluciones sucesivas	APHA-AWWA-WPCF: Método 2150 B/2160 B Norma UNE-EN-ISO-1622
Cloro libre residual	Colorimetría: método de DPD	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-CI G Norma UNE-EN ISO 7343-2
Cloruros	Titulometría: Método de Mohr	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-CI B Norma UNE-EN-ISO-77041
pH	Electrometría: Potenciometría	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-H+B
Sólidos totales disueltos	Gravimetría	APHA-AWWA-WPCF: Método 2540 B

Tabla No. 7: Resumen de métodos analíticos (continuación).

<b>Parámetro</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
Fluoruros	Colorimetría: Método con alizarin complexona y lantano (III)	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-F E Norma UNE-EN-ISO 77044-1
Nitratos	Espectrofotometría: Método ultravioleta selectivo	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B
Nitritos	Espectrofotometría: Método de Griess	APHA-AWWA-WPCF: Método 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B Norma UNE-EN-ISO-26777
Coliformes totales- <i>E. coli</i>	Filtración por membrana	APHA-AWWA-WPCF: Método 9222B Norma UNE-EN-ISO 9308-1
Cationes	Espectrofotometría de Absorción Atómica	APHA-AWWA-WPCF: Método 3110

#### 4. RESULTADOS

En las siguientes tablas se presenta la media de los resultados con límites de confianza al 95%, que se obtuvieron para los distintos parámetros determinados en cada estación de muestreo. Los resultados analíticos de todas las campañas de muestreo figuran en el apéndice A.

Tabla No. 8: Caudal medio determinado en las estaciones investigadas.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>CAUDAL ( L / s )</b>
Los Regadíos I	4,76 ± 0,25
Los Regadíos II	7,89 ± 0,20
El Manzano	18,86 ± 0,29
La Zeta	0,22 ± 0,04
Cinco Arroyos	3,10 ± 0,09
Los Aguacatillos	1,72 ± 0,09
Lo de Hernández	2,10 ± 0,06
San Sebastián	0,72 ± 0,04
Jumaj	9,36 ± 0,19
<b>CAUDAL TOTAL</b>	<b>48,73 ± 0,27</b>

Tabla No. 9: Valor promedio para las características físicas del agua.

Parámetro Estación	Temperatura ° C	Conductividad eléctrica μS / cm	Turbiedad ( UNT )
Regadíos I	18,5±0,11	443±5	1,67±1,58
Regadíos II	18,7±0,09	436±18	1±0,94
El Manzano	19,9±0,22	365±14	1,33±1,27
La Zeta	20,0±0,11	271±29	5,33±2,71
Cinco Arroyos	19,8±0,07	320±28	2±1,33
Los Aguacatillos	19,7±0,07	333±21	1±0,00
Lo de Hernández	19,8±0,07	383±22	2,67±1,71
San Sebastián	20,0±0,09	328±23	2,67±1,71
Jumaj	19,7±0,07	385±37	1,67±1,08

Tabla No. 10: Características físicas del agua (continuación).

Parámetro Estación	Color unidades ( Pt –Co )	Olor	Sabor
Regadíos I	5±2	NR	NR
Regadíos II	12±3	NR	NR
El Manzano	3±1	NR	NR
La Zeta	4±2	NR	NR
Cinco Arroyos	11±3	NR	NR
Los Aguacatillos	3±2	NR	NR
Lo de Hernández	5±2	NR	NR
San Sebastián	12±5	NR	NR
Jumaj	3±1	NR	NR

Tabla No. 11: Valor promedio para las características químicas del agua.

Parámetro Estación	Cloro residual mg / L	Cloruro mg / L	Dureza Total mg / L CaCO <sub>3</sub>	Potencial de hidrógeno unidades pH	Sólidos totales disueltos mg / L
Regadíos I	0	48 ± 2	318 ± 11	8,01 ± 0,02	220 ± 1
Regadíos II	0	50 ± 2	351 ± 8	8,00 ± 0,21	215 ± 10
El Manzano	0	48 ± 3	312 ± 30	8,10 ± 0,07	178 ± 32
La Zeta	0	50 ± 4	238 ± 18	8,13 ± 0,07	131 ± 20
Cinco Arroyos	0	49 ± 7	272 ± 18	8,12 ± 0,11	155 ± 20
Los Aguacatillos	0	55 ± 5	216 ± 23	8,01 ± 0,14	167 ± 14
Lo de Hernández	0	53 ± 9	223 ± 22	8,12 ± 0,09	190 ± 26
San Sebastián	0	49 ± 4	276 ± 11	8,11 ± 0,02	160 ± 8
Jumaj	0	48 ± 4	221 ± 18	8,02 ± 0,04	190 ± 15

Tabla No. 12: Características químicas del agua (continuación)

Parámetro Estación	Calcio mg / L	Zinc mg / L	Cobre mg / L	Magnesio mg / L
Regadíos I	134,80 ± 1,74	0,07 ± 0,04	0,02 ± 0,01	298,86 ± 1,40
Regadíos II	139,61 ± 13,08	0,08 ± 0,02	0,01 ± 0,01	290,10 ± 3,90
El Manzano	127,05 ± 3,38	0,07 ± 0,03	0,01 ± 0,01	257,51 ± 11,05
La Zeta	95,19 ± 3,84	0,10 ± 0,03	0,03 ± 0,02	196,88 ± 4,48
Cinco Arroyos	110,55 ± 12,43	0,13 ± 0,06	0	223,06 ± 23,99
Los Aguacatillos	87,04 ± 8,13	0,24 ± 0,08	0,02 ± 0,02	185,68 ± 12,39
Lo de Hernández	88,31 ± 5,47	0,21 ± 0,06	0	190,29 ± 19,13
San Sebastián	109,69 ± 5,30	0,08 ± 0,03	0	227,42 ± 12,40
Jumaj	85,57 ± 4,28	0,10 ± 0,05	0,02 ± 0,02	180,30 ± 8,70

Tabla No. 13: Concentración media para sustancias no deseadas en el agua.

Sustancia Estación	Fluoruro mg / L F <sup>-</sup>	Hierro total mg / L Fe	Manganeso mg / L Mn
Regadíos I	0	0,28 ± 0,02	0,90 ± 0,07
Regadíos II	0	0,26 ± 0,05	0,91 ± 0,05
El Manzano	0	0,14 ± 0,03	1,35 ± 0,24
La Zeta	0	0,41 ± 0,12	0,58 ± 0,21
Cinco Arroyos	0	0,51 ± 0,20	0,91 ± 0,16
Los Aguacatillos	0	0,35 ± 0,09	1,02 ± 0,22
Lo de Hernández	0	0,30 ± 0,08	1,25 ± 0,09
San Sebastián	0	0,42 ± 0,07	0,65 ± 0,09
Jumaj	0	0,18 ± 0,05	0,66 ± 0,11

Tabla No. 14: Sustancias no deseadas en el agua (continuación).

Sustancia Estación	Nitrato mg / L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrito mg / L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Regadíos I	0,83 ± 0,04	0,01 ± 0,01
Regadíos II	0,87 ± 0,05	0
El Manzano	2,13 ± 0,20	0,01 ± 0,01
La Zeta	1,14 ± 0,39	0,003 ± 0,001
Cinco Arroyos	1,34 ± 0,27	0
Los Aguacatillos	0,26 ± 0,10	0,01 ± 0,01
Lo de Hernández	1,45 ± 0,16	0
San Sebastián	1,34 ± 0,09	0,02 ± 0,01
Jumaj	0,35 ± 0,08	0,04 ± 0,03

Tabla No. 15: Resultados promedio del análisis bacteriológico.

Microorganismo Estación	Grupo coliforme total ( UFC / 100 mL )	Escherichia coli ( UFC / 100 mL )
Regadíos I	90 ± 15	0
Regadíos II	540 ± 107	0
El Manzano	20 ± 13	0
La Zeta	2010 ± 403	0
Cinco Arroyos	10 ± 0.00	0
Los Aguacatillos	70 ± 15	0
Lo de Hernández	20 ± 13	0
San Sebastián	410 ± 82	20 ± 13
Jumaj	60 ± 29	20 ± 13



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 CAUDAL

Actualmente la población urbana del municipio de Huehuetenango es abastecida con agua proveniente de cinco nacimientos y cuatro pozos mecánicos, sin existir cuidado, control o medición de la cantidad y uso del líquido, pues los habitantes y autoridades solamente se interesan por el abastecimiento de agua, prestando poco interés al cuidado de las fuentes que la suministran.

La población actual del municipio se estima en 98.109 habitantes, de los cuales 46.955 personas, equivalente al 47,86% de la población, viven en el área urbana, siendo estas las que reciben el suministro de agua potable proveniente de los nacimientos y pozos mencionados. Para atender la población actual, considerando una dotación de 150 litros/persona/día, se requiere que las fuentes disponibles provean 81,52 litros/segundo para cubrir sus necesidades básicas.

Sin embargo, los aforos realizados muestran que el caudal actualmente no es suficiente para cubrir las demandas de la población, pues las nueve estaciones aforadas solamente proveen  $48,73 \pm 0,27$  litros/segundo, evidenciando un déficit aproximado de 32,79 litros/segundo, que indiscutiblemente implica un racionamiento para la población.

El déficit de agua potable será un problema que se agudizará en los próximos años, cuando la población del municipio esté más que duplicada como se estima para 2025, pues la explosión demográfica obviamente va a requerir un suministro de agua potable equivalente a más del doble de las necesidades actuales.

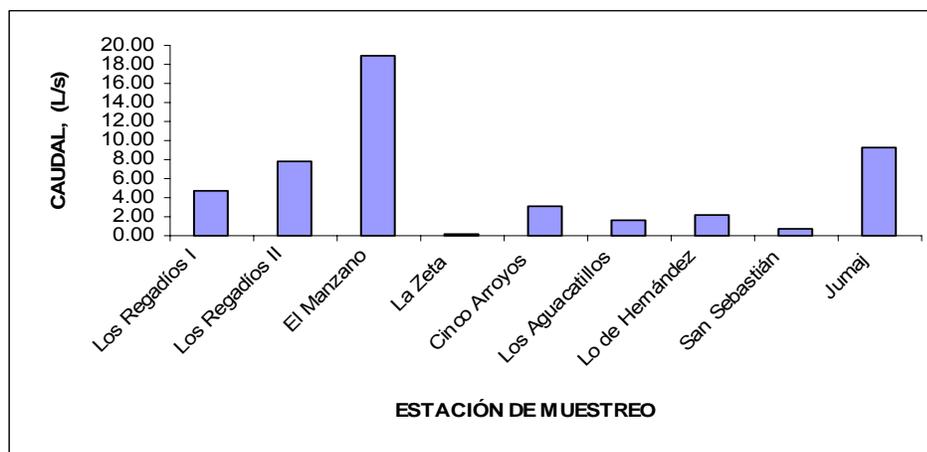
Esto traerá un racionamiento más drástico y en el peor de los casos, probablemente un mayor porcentaje de los pobladores se quedará sin acceso al agua, lo cual irá en detrimento de su salud y del poco o nulo desarrollo que puedan alcanzar, agudizándose la pobreza, ya que la falta de acceso a servicios como el agua, generalmente se asocia con pobreza.

Por otra parte, la falta de protección a las fuentes que hoy se explotan, así como el reducido caudal de algunas, entre las que se encuentran las estaciones de la Zeta y San Sebastián, podría originar su agotamiento y posiblemente para los próximos años cuando la demanda sea mayor, ya no provean el vital líquido.

Las estaciones El Manzano, Jumaj y Regadíos II, son las que actualmente suministran los mayores caudales, con 18,86, 9,36 y 7,89 litros/segundo respectivamente, mientras que La Zeta con 0,22 y San Sebastián con 0,72 litros/segundo, son las que presentan los caudales más reducidos.

La gráfica No.1 presenta los resultados obtenidos para el caudal en cada estación muestreada.

Gráfica No. 1: Caudal promedio determinado en las estaciones estudiadas.



La carencia de programas educativos en materia ambiental orientados al cuidado y uso racional del agua, se ha manifestado en la falta de conciencia por parte de la población huehueteca, pues para complicar el panorama, en marzo de 2006, personas con mala actitud sabotearon algunas tuberías de conducción, dejando a un porcentaje de la población sin servicio de agua por varios días, (Noticia de periódico Prensa Libre, 23 de marzo 2006).

A continuación se pasará a discutir los resultados obtenidos para el resto de los parámetros estudiados. Para ello se comparan los valores obtenidos en cada estación de muestreo, con los límites máximos aceptables y máximos permisibles establecidos por la Norma COGUANOR NGO 29 001:98 vigente para agua potable en Guatemala.

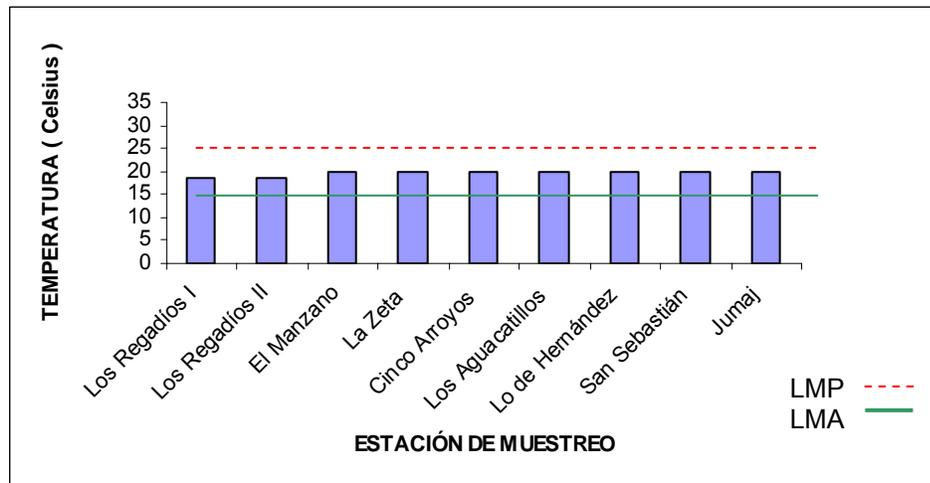
## **5.2 PARÁMETROS FÍSICOS**

### **5.2.1 TEMPERATURA**

En primer lugar, con relación a los parámetros físicos, se ha determinado que la temperatura promedio para las nueve estaciones estudiadas, se encuentra en el rango que va desde 18,5 a 20 grados Celsius, valores que la ubican dentro del rango establecido para los LMA y LMP recomendados por la norma COGUANOR, es decir que todas se encuentran entre 15 y 25 grados Celsius, aún considerando los límites de confianza correspondientes, calculados para la temperatura promedio en cada estación.

En términos de temperatura no hay inconveniente alguno con el agua que se abastece a la población. En la gráfica No.2 se presenta la temperatura media obtenida en las estaciones muestreadas.

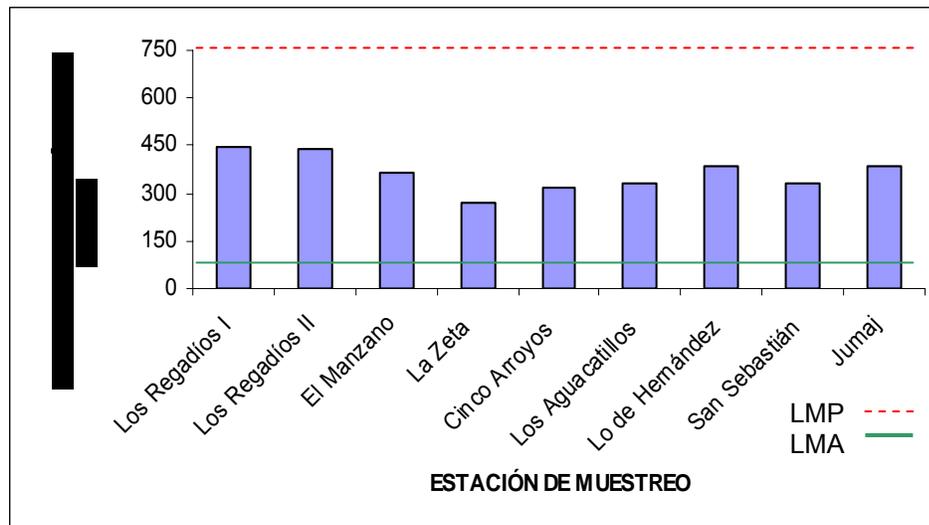
Gráfica No. 2: Temperatura promedio.



### 5.2.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para la conductividad eléctrica, COGUANOR establece como aceptables valores que van desde 100 a 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como LMA y LMP respectivamente. Los resultados promedio obtenidos en las nueve estaciones se ubican en el rango de 271 a 443  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estos valores se ubican por encima del LMA, sin embargo no representan riesgos para la salud del consumidor, puesto que no llegan a superar el LMP, según se observa en la gráfica 3. Estos valores indican que el agua posee una considerable cantidad de sales y minerales disueltos.

Gráfica No. 3: Conductividad eléctrica media.



Aún cuando se consideran los límites de confianza correspondientes a cada valor promedio, ninguno sobrepasa el LMP. El valor más bajo para este parámetro se determinó en el agua de estación La Zeta con  $271 \pm 29 \mu\text{S/cm}$ , y el más alto en el agua de Los Regadíos I, con  $443 \pm 5 \mu\text{S/cm}$ . Todos los resultados cumplen con los requerimientos de la norma establecida.

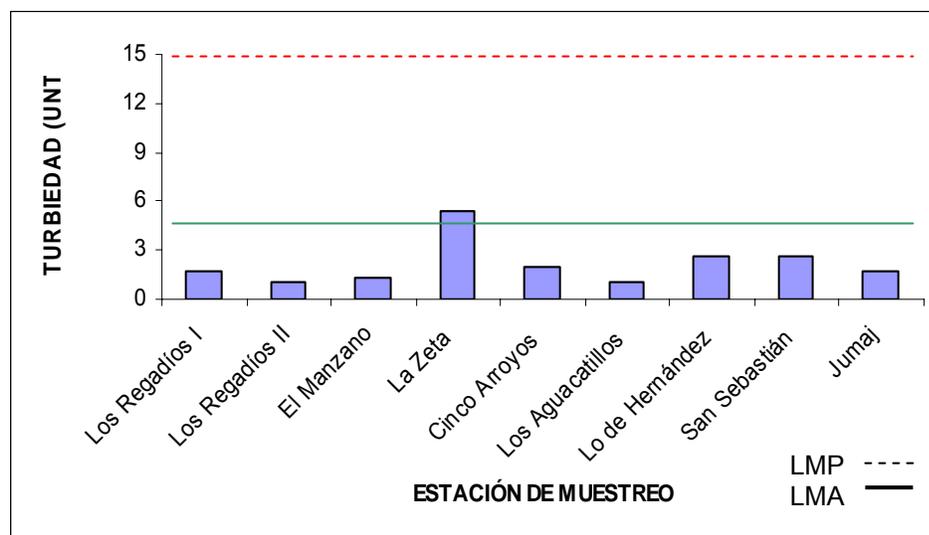
### 5.2.3 TURBIEDAD

La turbiedad es un parámetro que juega un papel importante en el proceso de desinfección del agua. Según COGUANOR, los límites máximo aceptable y máximo permisible deben ser de 5 y 15 UNT respectivamente. Los resultados de la mayoría de estaciones van desde 1 a 2,67 UNT en promedio, es decir por debajo del LMA, cumpliendo con las especificaciones.

Sin embargo el valor de 5,33 UNT de turbiedad que presenta el agua del nacimiento La Zeta, está fuera de norma, pues no satisface el LMA de 5 UNT establecido por COGUANOR, puesto que se ubica en promedio 0,33 UNT por encima de lo recomendado.

Este valor posiblemente, podría incidir en la eficacia de algún tratamiento de desinfección basado en cloro, pues la turbiedad protegería a los microorganismos patógenos, al absorber el cloro, librando de esta manera a virus y bacterias de su capacidad oxidante. En la gráfica No. 4 se puede observar el comportamiento de los resultados para la turbiedad en las estaciones analizadas. Si bien, el agua de La Zeta supera el LMA recomendado, no representa riesgo para la salud de los consumidores, pues no sobrepasa el LMP.

Gráfica No. 4: Turbiedad media en las estaciones muestreadas.

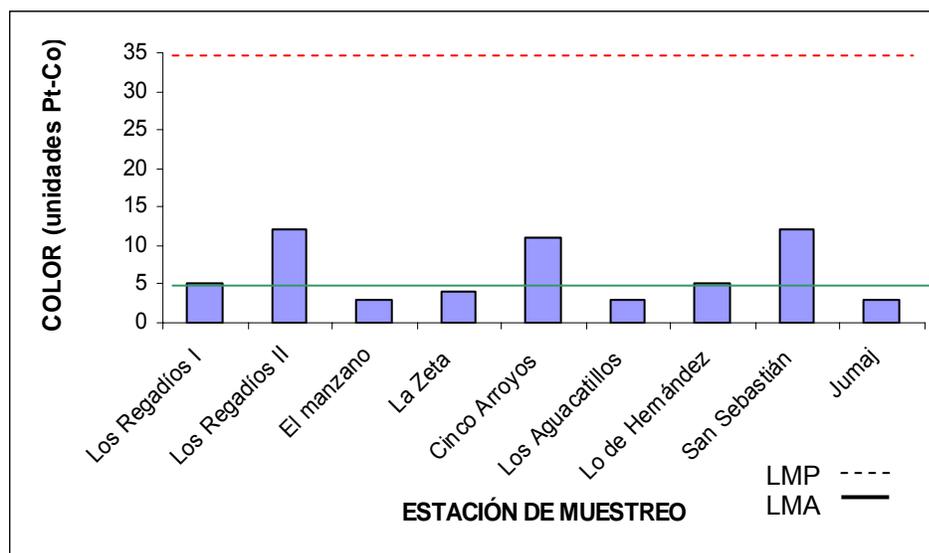


#### 5.2.4 COLOR

Con respecto al color del agua, la COGUANOR establece en la escala de platino-cobalto, 5.0 y 35.0 unidades como LMA y LMP respectivamente. Al comparar los valores promedio correspondientes al color del agua, se establece que las estaciones Jumaj, Los Aguacatillos, La Zeta y El Manzano presentan valores por debajo del LMA recomendado, ubicados entre las 3 y 4 unidades, por lo cual satisfacen la norma establecida.

Por otra parte, el resto de estaciones ubican los resultados entre las 5 y 12 unidades, lo cual posiblemente podría inducir un rechazo del agua por parte de los consumidores. El valor más alto se determinó en el agua de la estación San Sebastián, alcanzando  $12 \pm 5$  unidades, que aún, cuando se considera su límite de confianza superior, llegaría a las 17 unidades, ubicándola siempre por debajo del LMP. Puesto que el agua de ninguna estación sobrepasa el LMP para el color, se considera que no existe motivo alguno que la defina como no apta para su consumo, puesto que no representa riesgos para la salud de los consumidores. En la gráfica No.5 se puede observar claramente que estaciones ubican los resultados por encima del LMA.

Gráfica No. 5: Color del agua en las estaciones estudiadas.



### 5.2.5 SABOR Y OLOR

En términos de sabor y olor, los resultados en todas las estaciones reportan al agua como no rechazable, cumpliendo por lo tanto, con lo estipulado por la norma guatemalteca. Esta situación supone que el agua carece de malos olores y sabores, y por lo mismo no sería rechazada por las personas que la consumen.

### 5.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los datos microbiológicos que se muestran en la tabla No.15 de la sección de resultados, indican la presencia de organismos que son ajenos al agua, los cuales indudablemente adquirió por contacto con aguas residuales, excretas humanas o de animales.

Este problema de contaminación, seguramente se ha experimentado en las estaciones San Sebastián y Jumaj, pues los resultados bacteriológicos reportan la presencia de *E. coli*, que indiscutiblemente corresponde a contaminación fecal, situación que las pone fuera de la norma establecida, que estipula ausencia total de esta bacteria en el agua, por lo cual se considera al agua de estas fuentes como no apta para el consumo humano.

Para las demás estaciones de muestreo no se reporta la presencia de esta bacteria, cumpliendo con la norma establecida. En la gráfica No. 6 se puede observar claramente las dos estaciones con presencia de este microorganismo.

Gráfica No. 6: Estaciones de muestreo con presencia de *E. coli*.

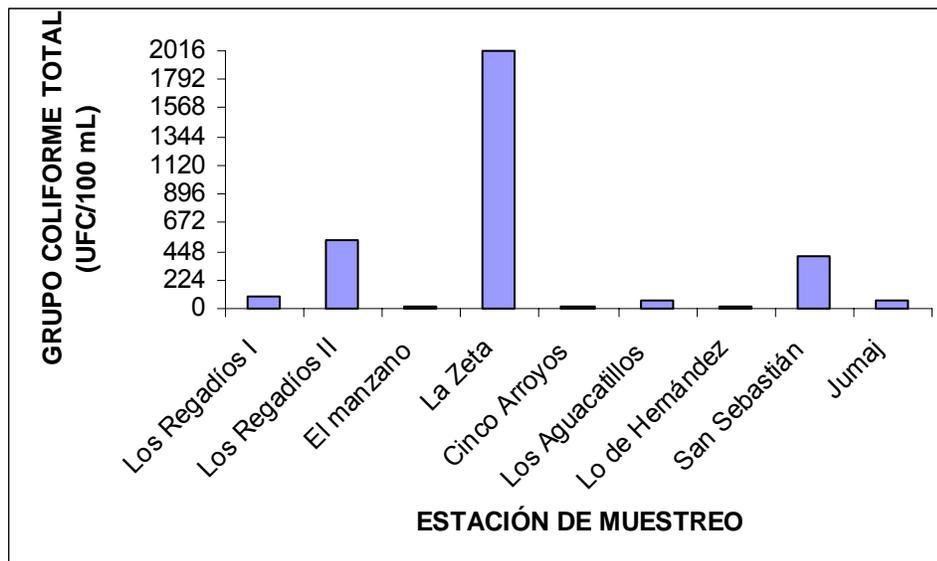


Así mismo, para microorganismos del grupo coliforme, COGUANOR establece que el número de colonias por muestra no debe exceder de 4/100 mL; este límite no se cumple en ninguna de las estaciones muestreadas, pues el número determinado en promedio oscila entre las 10 y 2010, lo cual indica que el agua tiene contaminación fecal, y por lo mismo no es apta para su consumo.

En el agua que se provee desde las estaciones La Zeta y los Regadíos II, se detectó el mayor número de gérmenes coliformes. Le sigue en cantidad, San Sebastián, que además de organismos coliformes, también reportó *E. coli*.

En términos generales, la calidad microbiológica del agua que se distribuye a la población, no satisface los parámetros recomendados por la COGUANOR. En la gráfica No. 7 se pueden observar los resultados microbiológicos para el grupo coliforme en las distintas estaciones que comprende el estudio.

Gráfica No. 7: Resultados para microorganismos del grupo coliforme.



Los efectos de esta contaminación ya se han manifestado en la población, pues un buen número de habitantes del lugar han padecido enfermedades gastrointestinales recientemente. Según estadísticas de la oficina del Área de Salud con sede en la ciudad de Huehuetenango, el número de casos atendidos por problemas de diarrea, en las primeras veinte semanas de 2007, asciende a 2003, cifra que indudablemente es mayor ya que no se cuenta con registros de personas atendidas por instituciones privadas.

La presencia de estos gérmenes en el agua, puede provocar nuevos casos de infecciones intestinales. Es importante considerar que un tratamiento de desinfección, utilizando cloro podría tener regular eficacia contra los microorganismos del agua en La Zeta, puesto que el valor de turbidez reportado para esta fuente se encuentra fuera de norma.

## **5.4 PARÁMETROS QUÍMICOS**

### **5.4.1 CLORO RESIDUAL**

En lo que respecta al cloro residual que garantiza agua libre de gérmenes patógenos, COGUANOR establece como LMA y LMP 0,5 mg/L y 1,0 mg/L respectivamente. En todas las muestras de agua analizadas no hay cloro residual, es decir que no se cumple con la norma establecida.

Esta situación era de esperarse, puesto que ninguna de las estaciones ha sido últimamente sometida a proceso de desinfección con cloro, lo que explica el alto número de casos de enfermedades gastrointestinales atendidos en el municipio en los últimos años. El agua suministrada por todas las estaciones contiene gérmenes patógenos, que porta desde su captación, como también algunos que podría adquirir en la red de distribución, situación que es preocupante, ya que las personas están potencialmente expuestas a sufrir enfermedades digestivas, especialmente niños y personas de la tercera edad.

## 5.4.2 CLORUROS

Respecto al contenido de cloruro, las concentraciones promedio determinadas se ubican en el rango de 48 a 55 mg/L, valores que cumplen expresamente con el LMA de 100,000 mg/L establecido por las normas guatemaltecas. En la gráfica No. 8 puede observarse que la cantidad de cloruros en el agua de todas las estaciones estudiadas, se ubica aproximadamente 50% por debajo del límite máximo aceptable.

Gráfica No. 8: Concentración media de cloruros.



Por otra parte, la concentración más alta se reporta para el agua de Los Aguacatillos con  $55 \pm 5$  mg/L, que aún considerando el límite de confianza superior de 60 mg/L, siempre es inferior al LMA.

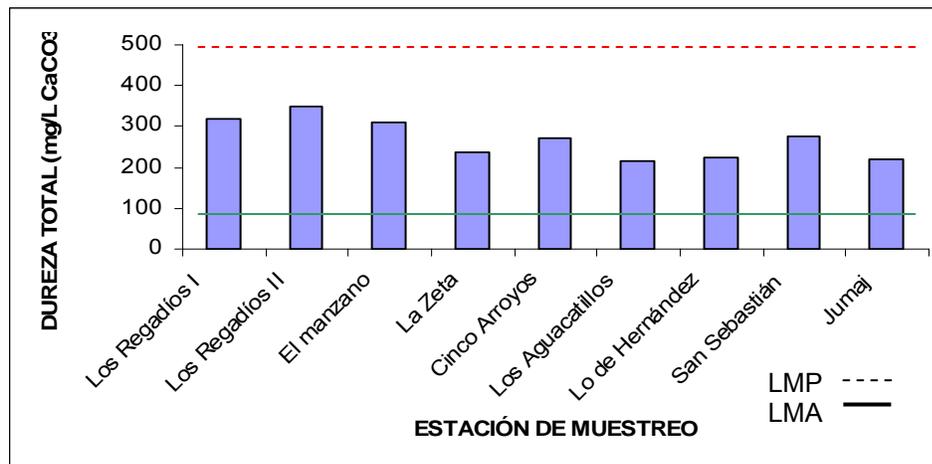
En general, las concentraciones de cloruro determinadas, no influyen en el sabor del agua, sin embargo, sí podrían contribuir a la corrosión en conducciones de agua caliente.

### 5.4.3 DUREZA TOTAL

En relación a la dureza total, COGUANOR fija como LMA y LMP concentraciones de 100 y 500 mg/L de carbonato de calcio respectivamente; los resultados que se muestran en la tabla No. 11, indican que la dureza total no cumple con el LMA, puesto que las concentraciones promedio determinadas se ubican entre los 216 y 351mg/L, siendo entre 2 y 3 veces mayores al límite máximo aceptable recomendado.

Para esta variable, el consumo del líquido no representa daños o riesgo para la salud de los pobladores, puesto que se ubica por debajo del límite máximo permisible de 500 mg/L. En la gráfica No. 9 se observa claramente, que la concentración de  $\text{CaCO}_3$  se ubica por encima del LMA en todas las estaciones, siendo el agua que proviene de la estación Los Regadíos II, la que presenta mayor concentración de estos, al reportar 351 mg/L.

Gráfica No. 9: Dureza total del agua.



El problema que genera la alta concentración de  $\text{CaCO}_3$ , es la formación de incrustaciones en la red de distribución y los recipientes que la población utiliza para hervir agua, como parte del proceso doméstico para su desinfección.

#### 5.4.4 POTENCIAL DE HIDRÓGENO

En lo que concierne al potencial de hidrógeno, el promedio para la mayoría de estaciones está ubicado entre 8,00 y 8,13 unidades de pH, valores que no cumplen con el intervalo del LMA de 7,0 a 7,5 unidades recomendado por COGUANOR, es decir que los valores se ubican por encima del límite establecido, lo cual podría inducir un rechazo sensorial del agua por parte de los consumidores, pues el pH influiría en su sabor, pero sin representar riesgo para la salud. Prácticamente el agua presenta características alcalinas.

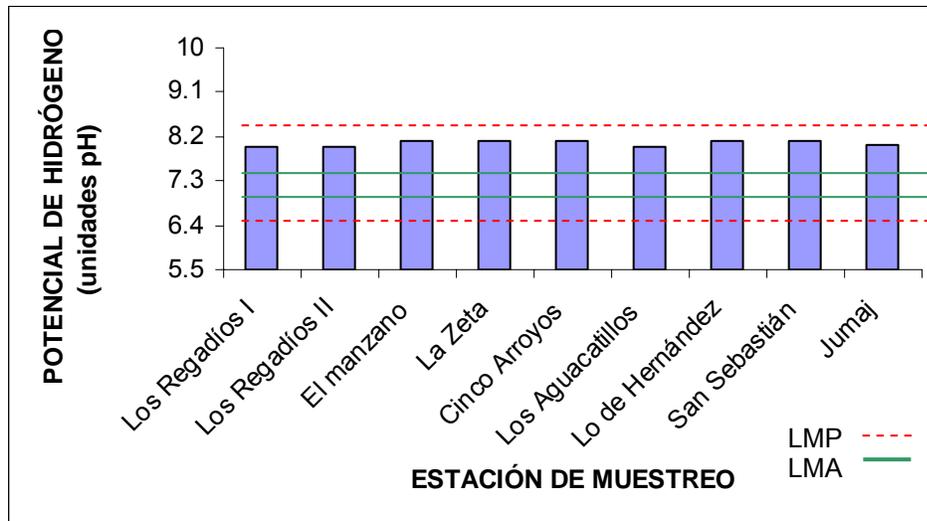
El valor de pH más bajo lo presenta el agua de Los Regadíos II, con  $8,00 \pm 0,21$  unidades, que aún considerando el límite inferior de confianza, de 7,79 unidades, tampoco satisface el valor recomendado, puesto que se ubica 0,29 unidades por encima del LMA.

Respecto al LMP, la norma guatemalteca estipula el intervalo de 6,5 a 8,5 unidades. Todos los resultados se encuentran dentro de este rango, lo cual permite considerar que el agua es apta para su consumo, pues el valor más alto alcanza  $8,13 \pm 0,07$  unidades, que aún con su límite superior de confianza de 8,20 no supera las 8,5 unidades establecidas por la norma.

Es importante observar que la OMS recomienda un potencial de hidrógeno menor a 8,00 unidades para que un proceso de desinfección utilizando cloro sea adecuado. Puesto que las diferentes estaciones presentan valores entre 8,00 y 8,13 unidades de pH, posiblemente un tratamiento del agua en todas las estaciones, con agentes del cloro no sería muy eficiente. Esta situación posiblemente ocurrió en años anteriores con el agua suministrada a la población huehueteca, cuando aún funcionaban algunos clorinadores, ya que el número de personas con enfermedades asociadas al agua, alcanzó en los últimos cinco años un promedio de 4.868 casos.

En la gráfica No. 10 se puede observar que ninguna de las estaciones presenta un valor fuera del LMP.

Gráfica No. 10: Potencial promedio de hidrógeno.

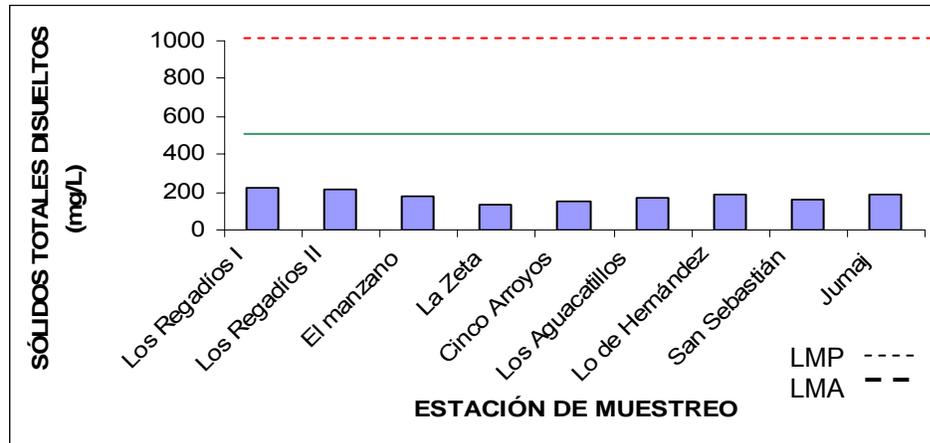


#### 5.4.5 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Los sólidos totales disueltos presentan concentraciones entre los 131 y 220 mg/L. Como puede observarse en la gráfica No. 11, estos valores se encuentran por debajo del LMA recomendado, que considera 500 mg/L, considerándose que no influyen significativamente en el sabor del agua, y tampoco pueden causar irritación gastrointestinal en las personas que consumen este líquido.

Las estaciones de los Regadíos I y II son las que reportan mayor cantidad con 220 y 215 mg/L respectivamente. El agua de La Zeta presenta la menor concentración de sólidos disueltos.

Gráfica No. 11: Concentración promedio de sólidos totales disueltos.



#### 5.4.6 CALCIO

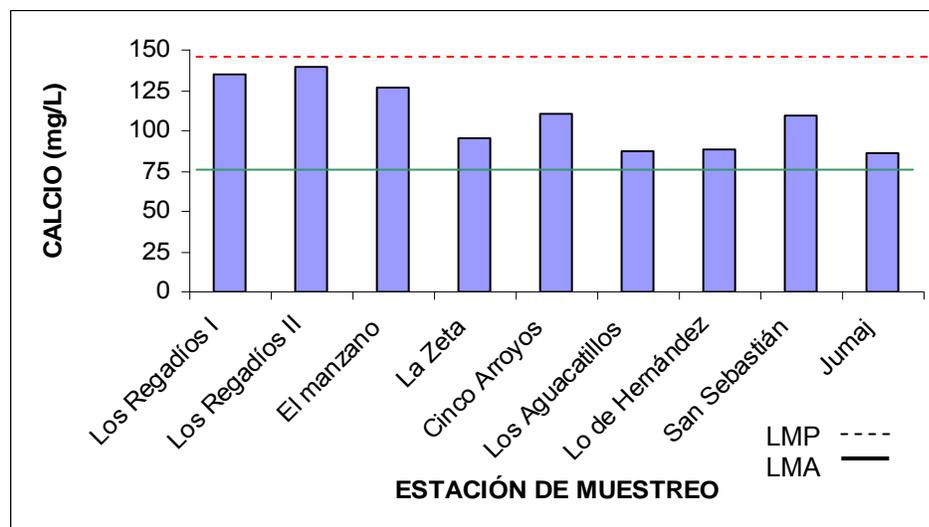
En lo que respecta a la concentración de calcio, los resultados evidencian concentraciones promedio entre los 85,57 y 139,61 mg/L, valores que están por encima del LMA de 75,000 mg/L recomendado por la COGUANOR. Estas concentraciones por encima de lo aconsejado, contribuyen a una excesiva formación de incrustaciones en las tuberías de conducción, como ya se ha comentado en el apartado de dureza del agua.

Es importante resaltar que aún cuando estos valores superan el LMA, no representan riesgo para la salud de los pobladores, pues se encuentran por debajo de los 150,000 mg/L establecidos como LMP, según se puede observar en la gráfica No. 12.

Los valores más bajos se reportan en el agua de las estaciones Jumaj, Los Aguacatillos y Lo de Hernández, con 85,57, 87,04 y 88,31 mg/L respectivamente. Mientras que el agua que proviene de los nacimientos El Manzano y los Regadíos I y II, contiene las más altas concentraciones de calcio, con 127,5 , 134,80 y 139.61 mg/L respectivamente.

En el caso del agua de los Regadíos II, al considerar el límite superior de confianza, se obtiene 152.69 mg/L, ubicándolo 2,69 mg/L por encima del LMP, lo cual supone que el agua proveniente de ésta fuente no es recomendable para consumo humano, puesto que podría ocasionar daños a la salud de los consumidores.

Gráfica No. 12: Concentración de calcio.

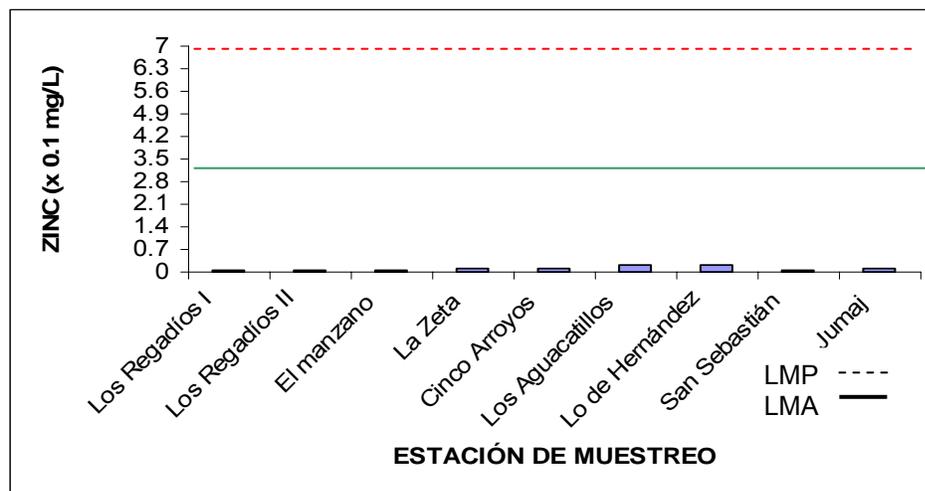


#### 5.4.7 ZINC

En relación a las concentraciones promedio de zinc, los resultados presentan para las estaciones muestreadas, valores que van de 0,07 a 0,24 mg/L, ubicándolos por debajo del LMA establecido por las normas guatemaltecas, que recomiendan 3,000 mg/L. Los resultados se ubican muy por debajo de estos límites, por lo que se puede afirmar que el agua no presenta ningún problema con respecto a este contaminante. En la gráfica No.13 se puede observar la baja concentración de zinc en todas las estaciones. La mayor concentración se determinó en Los Aguacatillos y Lo de Hernández con 0,24 y 0,21 mg/L respectivamente, que resultan ser aproximadamente tres veces más altas con relación a las otras estaciones.

Por otra parte, la concentración más baja se determinó en el agua proveniente de las estaciones Los Regadíos I y II, El Manzano y San Sebastián con valores que oscilan entre los 0.07 y 0.08 mg/L, ubicándolos más de 37 veces por debajo del LMA.

Gráfica No. 13: Concentración promedio de zinc.



#### 5.4.8 COBRE

Para el caso del cobre, en la tabla No. 12 de la sección de resultados, se puede observar la ausencia de este elemento en las estaciones Cinco Arroyos, San Sebastián y Lo de Hernández. Respecto al agua que proviene de los Regadíos II y El Manzano, la concentración de cobre es de 0.01 mg/L, valor que se encuentra 5 veces por debajo del LMA.

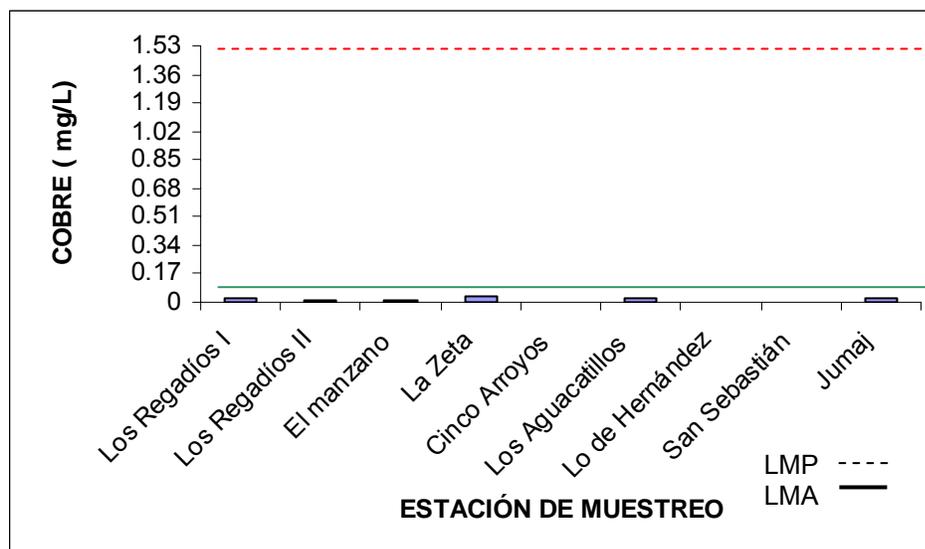
Para las estaciones Los Aguacatillos, Regadíos I y Jumaj, el valor determinado se ubica 2,5 veces por debajo del límite máximo aceptable recomendado por COGUANOR, de 0,050 mg/L. La concentración más alta corresponde al agua abastecida por estación La Zeta, con 0,03 mg/L, que tampoco excede el LMA.

En general, los valores determinados no producen en los consumidores del agua, una sensación astringente, y tampoco favorecen la coloración o corrosión de las tuberías y accesorios que conducen el líquido.

Respecto al LMP, los valores promedio reportados para las nueve estaciones, se ubican entre 50 y 150 veces por debajo del valor recomendado por la norma, que lo fija en 1,500 mg/L.

En la gráfica No. 14 se presentan los resultados promedio, correspondientes a la concentración de cobre en el agua de las fuentes investigadas.

Gráfica No. 14: Concentración promedio de cobre en el agua.



#### 5.4.9 MAGNESIO

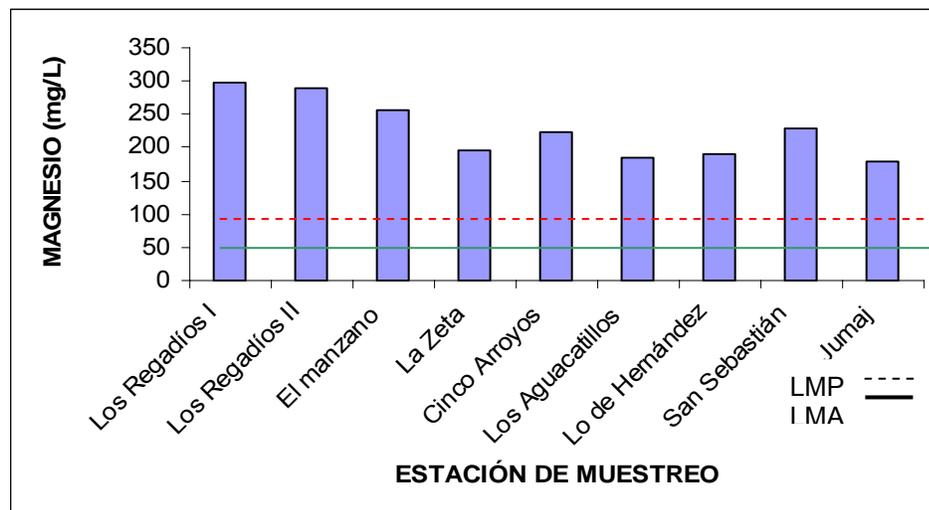
En lo que corresponde al magnesio, se determinaron concentraciones que oscilan entre los 180,30 y 298,86 mg/L, valores que no cumplen con los límites LMA y LMP de 50,000 y 100,000 mg/L respectivamente, establecidos por COGUANOR.

El agua que proviene de las estaciones Los Regadíos I y II, es la que contiene las concentraciones más altas, con 298,86 y 290,10 mg/L respectivamente, valores que casi llegan a triplicar el LMP. Por otra parte, el agua de Los Aguacatillos y Jumaj, presenta las concentraciones más bajas respecto a las otras estaciones, sin embargo son aproximadamente 1,8 veces mayores al valor estipulado.

Al sobrepasar la concentración de magnesio el LMP en todas las estaciones, el agua se considera no apta para consumo humano, pues aparte de contribuir al aumento de su dureza, las altas concentraciones de magnesio representan un riesgo para la salud de los consumidores, ya que pueden originar en la población hipermagnesemia.

En la gráfica No. 15, se puede observar claramente que este parámetro supera en todas las estaciones, los límites tanto recomendados como los permitidos.

Gráfica No. 15: Concentración de magnesio.



## **5.5 SUSTANCIAS NO DESEADAS EN EL AGUA**

### **5.5.1 FLUORUROS**

El estudio ha permitido establecer que en ninguna de las estaciones el agua contiene fluoruros. La ausencia de estos hace vulnerable a la población infantil al padecimiento de caries dental, pues la OMS considera que concentraciones de fluoruros inferiores a 0,5 mg/L significan un riesgo para este sector de pobladores.

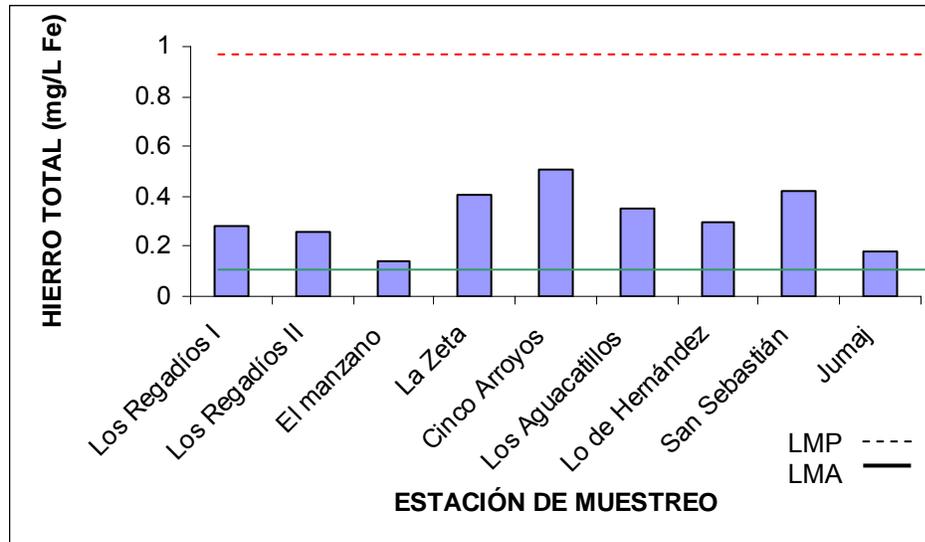
### **5.5.2 HIERRO**

En el caso del hierro, como se muestra en la tabla No.13 del apartado de resultados, las concentraciones varían entre los 0,14 y 0,51 mg/L, cantidades que lo sitúan fuera de norma, pues el LMA estipulado por la norma es 0,100 mg/L. El agua que se abastece desde las estaciones La Zeta y Cinco Arroyos, es la que contiene mayor cantidad de hierro, con 0,41 y 0,51 mg/L respectivamente, lo que corresponde a valores aproximadamente de 4 y 5 veces por encima del límite máximo aceptable.

Estas concentraciones pueden crear problemas de turbidez y sabor en el agua, a la vez que contribuyen a la proliferación de ferrobacterias. Sin embargo, los valores determinados no suponen riesgo para la salud del consumidor, pues en ninguna muestra se llega a superar el LMP recomendado de 1,000 mg/L.

De todas las estaciones, el agua que proviene de Cinco Arroyos, es la que alcanza mayor concentración con 0,51 mg/L, valor que es aproximadamente la mitad del límite máximo permisible, aún considerando su límite superior de confianza, la concentración llega a ser de 0,71 mg/L, y por lo tanto no representa riesgo para la salud de las personas. En la gráfica No. 16 se presentan los resultados para hierro total en el agua estudiada.

Gráfica No. 16: Concentración promedio de hierro total.



### 5.5.3 MANGANESO

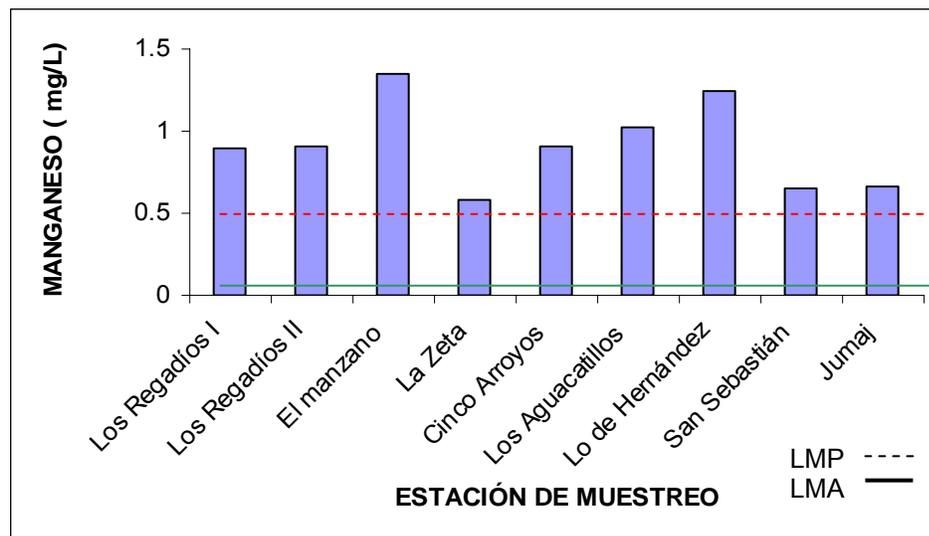
Respecto a las concentraciones de manganeso, todas las estaciones presentan valores entre los 0,58 y 1,35 mg/L, lo cual corresponde a un intervalo de 11 a 27 veces mayor a lo reglamentado por las normas guatemaltecas, que estipulan el LMA en 0,050 mg/L. Respecto al LMP estipulado en 0,500 mg/L, las concentraciones superan el valor recomendado, siendo en algunas estaciones como El Manzano y Los Aguacatillos aproximadamente tres veces superiores al límite máximo permisible. En la gráfica No. 17, se puede observar que este elemento supera el LMP recomendado en el agua de las nueve estaciones.

La presencia de manganeso en estas concentraciones constituye un notable riesgo para la salud de los habitantes, ya que puede producir graves alteraciones en el sistema nervioso central, o toxicidad que se manifestaría por graves síntomas psiquiátricos, como hiper irritabilidad, alucinaciones y falta de coordinación. Indudablemente, también afectaría a personas con deficiencia renal.

Por otra parte se pueden originar inconvenientes de sabor y turbidez en el agua, contribuyendo a la formación de depósitos en tuberías de conducción. El agua de todas las estaciones no es recomendable para consumo humano, debido a que se excede el LMP.

Si en el futuro, el agua es sometida a tratamiento con cloro, posiblemente su actividad oxidante sea muy lenta por la presencia del manganeso.

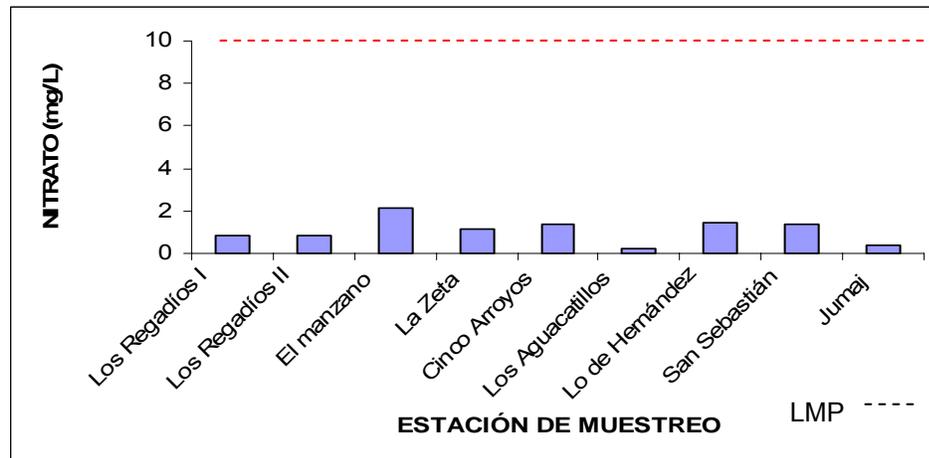
Gráfica No. 17: Concentración de manganeso.



#### 5.5.4 NITRATOS Y NITRITOS

En el caso de los nitratos, las normas guatemaltecas no establecen un LMA, pero si recomiendan como LMP 10 mg/L. Las concentraciones promedio determinadas en las diferentes estaciones varían entre los 0,26 y 2,13 mg/L, resultados que se ubican por debajo del LMP, por lo cual se considera que su presencia en el agua no representa riesgo para la salud de los habitantes. Los resultados se muestran en la gráfica No. 18.

Gráfica No. 18: Concentración promedio de nitratos.



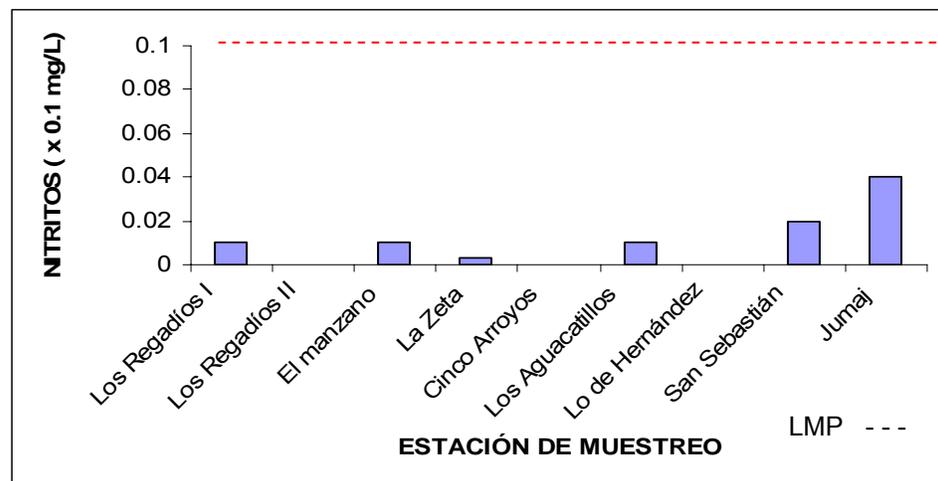
La concentración más alta se presenta en el agua de la estación El Manzano, con 2,13 mg/L, que aún considerando el límite superior de confianza, no supera al LMP estipulado, pues alcanzaría los 2,33 mg/L, siendo aproximadamente la cuarta parte del valor fijado, mientras que el valor más bajo se estableció en Los Aguacatillos, con 0,26 mg/L

Por otra parte, en lo que respecta a la concentración de nitritos, el agua de las estaciones Cinco Arroyos, Regadíos II y Lo de Hernández carece de los mismos; mientras que en el resto de estaciones las concentraciones varían entre los 0,003 y 0,04 mg/L, cantidad que los ubica más de 50 veces por debajo del LMP de 1 mg/L estipulado por la COGUANOR. Los resultados correspondientes se presentan en la gráfica No. 19.

Es importante considerar que los nitratos presentes en el agua pueden reducirse a nitritos, de tal manera que la concentración de estos aumente, y en el peor de los casos, si se llega a superar el LMP podría provocar metahemoglobinemia en la población infantil, sin embargo, las bajas concentraciones que se han determinado, por ahora, no representan riesgo alguno.

También el consumo de agua con nitratos y alimentos que contienen aminos secundarias y terciarias puede dar lugar a la formación de nitritos por reacciones *in vivo* debidas a la acción de bacterias intestinales, favoreciendo la formación de nitrosaminas, que resultan ser sustancias peligrosas para el ser humano, por su posible actividad carcinógena.

Gráfica No. 19: Concentración promedio de nitritos.



Considerando los resultados del estudio se ha determinado que el agua abastecida por las estaciones El Manzano, Los Regadíos I, Los Aguacatillos y Lo de Hernández, supera los LMA correspondientes, estipulados por la COGUANOR para la conductividad eléctrica, microorganismos del grupo coliforme, potencial de hidrógeno, concentraciones de hierro, calcio y CaCO<sub>3</sub>.

Igual situación presenta el agua de las estaciones La Zeta, Cinco Arroyos, Regadíos II, Jumaj y San Sebastián, pero además de los parámetros mencionados, la turbiedad en La Zeta tiene un valor por encima del LMA, mientras que el agua de Cinco Arroyos, Regadíos II, Jumaj y San Sebastián, reporta además el color por encima del límite establecido.

En el agua de todas las estaciones muestreadas se superan los límites máximos permisibles estipulados para las concentraciones de magnesio y manganeso.

De las nueve estaciones muestreadas, únicamente en el agua de las estaciones Jumaj y San Sebastián se detectó la presencia de *E. Coli*.

Finalmente, por el déficit de agua establecido, como también por las concentraciones de manganeso y magnesio que superan los LMP recomendados por la Comisión Guatemalteca de Normalización, y la cantidad de microorganismos del grupo coliforme por encima del límite fijado, prácticamente el agua que surte el sistema de distribución en el municipio de Huehuetenango no es suficiente para atender la población actual del lugar, y tampoco es apta para consumo humano, por lo cual se acepta la hipótesis nula planteada en esta investigación.



## CONCLUSIONES

1. El sistema de distribución de agua potable en el área urbana del municipio de Huehuetenango, dispone de 48,73 litros/segundo para atender a la población actual del lugar, evidenciando un déficit de 32,79 litros/segundo, debido a que los requerimientos mínimos para esta población son de 81,52 litros/segundo.
2. El agua que se provee a la población supera los límites máximos aceptables para la conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, concentraciones de calcio, hierro, magnesio, manganeso y carbonato de calcio, por lo cual los consumidores podrían manifestar un rechazo sensorial del agua.
3. Las concentraciones de magnesio y manganeso superan los límites máximos permisibles en el agua de todas las fuentes de distribución, por lo cual no es apta para consumo humano.
4. El agua no posee la calidad microbiológica estipulada por las normas guatemaltecas, debido a que se detectó la presencia de microorganismos del grupo coliforme en cantidad superior a la establecida, por lo cual tampoco es apta para consumo humano.
5. Las altas concentraciones de calcio, hierro, magnesio y carbonato de calcio que se determinaron, confieren al agua características de dureza, favoreciendo la formación de incrustaciones en el sistema de distribución.
6. En ninguna muestra de agua se encontró cloro residual, lo que favorece la presencia y desarrollo de microorganismos patógenos que constituyen un potencial riesgo para la salud de los pobladores.



## RECOMENDACIONES

1. El déficit de agua potable en el municipio de Huehuetenango, se puede reducir al desarrollar sistemas que permitan almacenar agua de lluvia, que luego del tratamiento sanitario adecuado, podría utilizarse para abastecer a la población.
2. Es indispensable someter el agua antes de su distribución, a procesos de depuración en los cuales se reduzca o elimine la presencia de sustancias fuera de norma, como calcio, hierro, carbonato de calcio, magnesio y manganeso, eliminando así los problemas que podrían causar a la salud de los habitantes, como también en los sistemas de distribución al formar incrustaciones.
3. Implementar un sistema de tratamiento en cada una de las fuentes de distribución de agua, que permitan reducir las altas concentraciones de magnesio y manganeso a los límites recomendados, con la finalidad de proveer a los consumidores agua que no represente riesgos para su salud.
4. Las autoridades municipales deben implementar inmediatamente sistemas de desinfección para el agua, con la finalidad de eliminar la presencia de microorganismos que dejan vulnerable a la población al padecimiento de enfermedades de origen hídrico.
5. Las instituciones gubernamentales, nacionales y locales, deben mejorar la coordinación de sus políticas y programas, encaminados al desarrollo de un monitoreo y análisis de la calidad del agua, que se abastece a la población del municipio.

6. Promover investigaciones sobre caudal y parámetros de calidad del agua en las fuentes de abastecimiento en época de invierno, con la finalidad de comparar las características del líquido respecto a resultados de verano, de tal manera que la información sirva de base para realizar una gestión adecuada del vital líquido en el futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association. **Agua y su Calidad de Tratamiento.** UTEHA. México, D. F. 1968.
2. Cáceres Estrada, Roberto. **Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe: El caso Guatemalteco.** Publicación de las Naciones Unidas. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2000.
3. **Código Municipal.** Organismo Legislativo. Decreto 58-88. Guatemala, 1988.
4. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. **Estado del Ambiente y los Recursos Naturales en Centroamérica.** San José, Costa Rica. 1998.
5. Cruz, S. J. R. De La. **Clasificación de zonas de vida de Guatemala basado en el sistema de Holdrige.** Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 1976.
6. **Diccionario Geográfico de Guatemala.** Tomo I. Dirección General de Cartografía. 1961.
7. Dreisbach, Robert H. **Manual de Toxicología Clínica.** Editorial el Manual Moderno. 5ª. Edición. México, D. F. 1986.
8. Escobar, J. y Rodríguez, N. **Diagnóstico de los Recursos Forestales de Guatemala.** 1989.
9. Gamboa, Gonzalo, et. al. **Experiencias Municipales en la Gestión del Agua. Los casos de los Municipios de Chiantla y Huehuetenango.** FLACSO. Área de población, ambiente y desarrollo rural. Guatemala. 2006.

10. Gil, Joram. **Plan de Inversiones en el Sector de Agua y Saneamiento en la República de Guatemala.** Informe Final. Comisión Nacional de Reforma del Sector. Guatemala. 2001.
11. Instituto Nacional de Bosques. **Boletín de estadísticas forestales 2002.** INAB. Guatemala, 2004.
12. Instituto Nacional de Electrificación – Sociedad Alemana de Cooperación Técnica. **Plan Maestro de Electrificación Nacional.** Estudio de los Recursos Hidroeléctricos. Guatemala. 1975.
13. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. **Calidad de agua de los ríos de la república de Guatemala.** Boletín No. 7. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos. Laboratorio de Hidroquímica. Guatemala, 2004.
14. Instituto Nacional de Estadística. **Proyección de población a nivel departamental y municipal por año calendario.** Guatemala, 2001.
15. López Choc, Fernando. **Capital Hídrico y Usos del Agua en Guatemala.** Guatemala, 2002.
16. **Métodos Normalizados:** para el análisis de aguas potables y residuales de la APHA-AWWA-WPCF. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1992.
17. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **El Agua.** Cartilla Ambiental 1, Cuidado de la Salud y el Ambiente. Departamento de Regulación de los Programas de la Salud y Ambiente. Guatemala, 2004.
18. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **Tratamiento y Desinfección del Agua a Base de Cloro.** Cartilla Ambiental 8. Departamento de Regulación de los Programas de la Salud y Ambiente. Guatemala, 2004.

19. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **Norma COGUANOR NGO 29 001:98**. Cartilla Ambiental 9. Departamento de Regulación de los Programas de la Salud y Ambiente. Guatemala, 2004.
20. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. **Memorias Semanales del Departamento de Vigilancia Epidemiológica**. Jefatura Área de Salud, Huehuetenango. Guatemala, 2007.
21. Miller, J.C. y J.N., Miller. **Estadística Para Química Analítica**. 2ª Edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana. U.S.A. 1988.
22. Organización Mundial de la Salud. **Normas Internacionales Para el Agua Potable**. 3ª. Edición. Ginebra, Suiza. 1972.
23. Organización Mundial de la Salud. **Guidelines for Drinking Water Quality**. 3a. edición. Ginebra. 2003.
24. Organización Panamericana de la Salud. **Impacto de los desastres en la salud pública**. Washington, D.C. 2000.
25. Prensa Libre. **“Sabotaje los deja sin agua”**. Por Mike Castillo. Edición digital del 23 de marzo de 2006.
26. Prensa Libre. **“Huehuetecos sufren por falta de agua”**. Por Mike Castillo. Edición digital del 6 de mayo de 2006.
27. Remington. **Farmacología**. Tomo I. Editorial Médica Panamericana. 19ª. Edición. Buenos Aires, Argentina. 1998.
28. Secretaría General, Sistema de Integración Centroamericano. **Plan de Acción para el Manejo Integrado y la Conservación de los Recursos de Agua**. Julio de 2000.
29. Seoáñez Calvo, Mariano. **Ingeniería Medioambiental Aplicada**. Ediciones Mundi–Prensa. Madrid. 1997.

30. Shils, Maurice E. et. al. **Nutrición en Salud y Enfermedad.** McGraw–Hill Interamericana. México, D. F. 2002.
31. Solsona, F. **Manual de desinfección del agua.** CEPIS–OPS/OMS. Lima, Perú. 2002.
32. UNESCO, ROSTLAC, INSIVUMEH. **Balance Hídrico superficial de la República de Guatemala.** Informe, Tomo I. Guatemala. 1992.
33. **Unidad del Sistema de Información Geográfica de Huehuetenango,** USIGHUE. Huehuetenango, Guatemala. 2007.
34. United Nations Children’s Fund. **A Water Handbook.** A publication of UNICEF/ Programme Division, Water, Environment and Sanitation Section. New York. 1999.
35. Universidad Rafael Landívar. **Perfil Ambiental de Guatemala, Tendencias y Reflexiones Sobre la Gestión Ambiental.** Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala, 2006.
36. Universidad Rafael Landívar. **Situación del Recurso Hídrico en Guatemala.** Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. Guatemala, 2005.
37. Walpole, Ronald E. y Raymond H. Myers. **Probabilidad y estadística para ingenieros.** Editorial Interamericana. 3ª Edición. México D. F. 1989.
38. World Health Organization. **Guidelines for Drinking Water–Quality** (electronic resource). Vol. 1, Recommendations. Third Edition. Geneva, 2006.
39. Ziegler, Ekhard E. y L.J. Filer, Jr. **Conocimientos actuales sobre nutrición.** Publicación científica No. 565, O.P.S. Washington, D.C. E.U.A. 1997.

## ANEXO A

### RESULTADOS GENERALES

En esta sección se presentan los resultados generales y el análisis estadístico correspondiente a cada parámetro investigado en el agua de las estaciones estudiadas, siendo:

$\bar{x}$  : Media aritmética

s : Desviación estándar

$\beta$ : Límite de confianza a un nivel del 95%.

En la tabla siguiente se presentan los aforos realizados ( $A_i$ ) en cada estación.

Tabla No. 16: Resultados generales para el aforo (L/s) en cada estación.

ESTACIÓN	A1	A2	A3	A4	A5	A6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Los Regadíos I	4,79	4,66	4,92	4,33	4,88	4,97	4,76	0,24	0,25
Los Regadíos II	7,98	7,65	7,87	7,92	8,2	7,74	7,89	0,19	0,20
El Manzano	19,1	19,24	18,92	18,64	18,72	18,52	18,86	0,28	0,29
La Zeta	0,27	0,18	0,21	0,18	0,22	0,24	0,22	0,04	0,04
Cinco Arroyos	3,06	3,08	3,12	3,26	3,08	3,02	3,10	0,08	0,09
Los Aguacatillos	1,68	1,59	1,67	1,75	1,82	1,79	1,72	0,09	0,09
Lo de Hernández	2,08	2,16	2	2,12	2,14	2,11	2,10	0,06	0,06
San Sebastián	0,66	0,73	0,69	0,75	0,71	0,75	0,72	0,04	0,04
Jumaj	9,31	9,48	9,25	9,67	9,29	9,18	9,36	0,18	0,19
<b>CAUDAL TOTAL</b>	<b>48,93</b>	<b>48,77</b>	<b>48,65</b>	<b>48,62</b>	<b>49,06</b>	<b>48,32</b>	<b>48,73</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>

En las tablas siguientes se presentan los resultados para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, correspondientes a las muestras de agua de las nueve estaciones estudiadas. Cada muestra se identifica como  $M_i$ .

Tabla No. 17: Resultados generales, estación Los Regadíos I.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	18.7	18.5	18.4	18.5	18.4	18.5	18.5	0.11	0.11
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	440	450	440	440	440	450	443.33	5.16	5.42
Turbiedad, UNT	3	0	1	0	3	3	1.67	1.51	1.58
Color unidades (Pt -Co)	8	7	5	4	2	4	5.00	2.19	2.30
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	46.1	49	51	46.9	49	47	48.17	1.83	1.91
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	329	330	324	307	311	309	318.33	10.50	11.02
Potencial de hidrógeno, unidades pH	7.98	8	8.03	8.01	8	8.02	8.01	0.02	0.02
Sólidos totales disueltos, mg/L	218	221	219	220	221	218	219.50	1.38	1.45
Calcio, mg/L Ca	135.6	135.7	134.7	136.2	135	131.6	134.80	1.66	1.74
Zinc, mg/L Zn	0.11	0.08	0.1	0.06	0.03	0.02	0.07	0.04	0.04
Cobre, mg/L Cu	0.02	0.02	0.03	0.03	0	0.02	0.02	0.01	0.01
Magnesio, mg/L Mg	299.6	301	298.1	297.1	298.8	298.6	298.86	1.33	1.40
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.26	0.29	0.31	0.26	0.3	0.28	0.28	0.02	0.02
Manganeso, mg/L Mn	0.8	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.90	0.06	0.07
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	0.81	0.87	0.89	0.8	0.79	0.82	0.83	0.04	0.04
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0.01	0	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	110	90	80	70	100	90	90.00	14.14	14.84
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 18: Resultados generales, estación Los Regadíos II.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	18.6	18.7	18.6	18.8	18.7	18.8	18.7	0.09	0.09
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	430	450	460	440	410	430	436.67	17.51	18.37
Turbiedad, UNT	2	0	0	1	2	1	1	0.89	0.94
Color unidades (Pt -Co)	15	10	8	12	14	13	12.00	2.61	2.74
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	51.1	53	48.1	47.2	49.1	48.9	49.57	2.12	2.23
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	349	356	340	363	352	348	351.33	7.79	8.17
Potencial de hidrógeno, unidades pH	7.78	8.05	7.98	7.8	8.3	8.1	8.00	0.20	0.21
Sólidos totales disueltos, mg/L	211	219	201	229	210	220	215.00	9.74	10.22
Calcio, mg/L Ca	119.6	143.7	132.8	145.7	156.2	139.7	139.61	12.47	13.08
Zinc, mg/L Zn	0.09	0.11	0.05	0.08	0.07	0.08	0.08	0.02	0.02
Cobre, mg/L Cu	0	0.02	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Magnesio, mg/L Mg	292.7	289.5	294.7	290.9	288.7	284	290.10	3.71	3.90
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.24	0.22	0.19	0.29	0.32	0.28	0.26	0.05	0.05
Manganeso, mg/L Mn	0.9	0.98	0.93	0.85	0.91	0.88	0.91	0.04	0.05
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	0.85	0.79	0.86	0.93	0.9	0.88	0.87	0.05	0.05
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	650	420	550	490	670	460	540.00	102.37	107.4
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 19: Resultados generales, estación El Manzano.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	20.1	19.7	19.9	19.8	19.7	20.2	19.9	0.21	0.22
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	360	380	350	380	370	350	365.00	13.78	14.46
Turbiedad, UNT	2	1	0	3	2	0	1.33	1.21	1.27
Color unidades (Pt-Co)	3	1	2	3	5	4	3.00	1.41	1.48
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	52.3	46.23	44.35	50.8	49.3	45.79	48.13	3.14	3.29
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	320	290	350	310	330	270	311.67	28.58	29.98
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.12	8.07	8	8.12	8.07	8.2	8.10	0.07	0.07
Sólidos totales disueltos, mg/L	190	230	180	170	160	140	178.33	30.61	32.11
Calcio, mg/L Ca	131.5	123.7	130.6	124.7	126.2	125.6	127.05	3.22	3.38
Zinc, mg/L Zn	0.11	0.08	0.06	0.09	0.05	0.02	0.07	0.03	0.03
Cobre, mg/L Cu	0	0.02	0.02	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01
Magnesio, mg/L Mg	273.6	259.4	247.4	257.3	244.7	262.7	257.51	10.53	11.05
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.16	0.1	0.14	0.17	0.12	0.14	0.14	0.03	0.03
Manganeso, mg/L Mn	1.62	1.5	1	1.3	1.5	1.2	1.35	0.23	0.24
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	2.3	2.16	2.32	1.89	2.2	1.9	2.13	0.19	0.20
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0.01	0	0	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0.01
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	20	40	10	30	10	10	20.00	12.65	13.27
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 20: Resultados generales, estación La Zeta.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	20.1	20	19.8	20	20.1	20	20.0	0.11	0.11
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S/cm}$	290	310	230	270	250	280	271.67	28.58	29.98
Turbiedad, UNT	9	5	7	2	6	3	5.33	2.58	2.71
Color unidades (Pt-Co)	7	3	1	6	4	3	4.00	2.19	2.30
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	56.1	48.6	50.1	48.9	52.3	46	50.33	3.49	3.67
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	229	238	226	257	261	219	238.33	17.18	18.02
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.19	8.21	8.04	8.15	8.1	8.11	8.13	0.06	0.07
Sólidos totales disueltos, mg/L	162	122	132	143	121	108	131.33	19.05	19.99
Calcio, mg/L Ca	95.6	99.7	94.64	89.2	98.1	93.9	95.19	3.66	3.84
Zinc, mg/L Zn	0.12	0.07	0.09	0.15	0.08	0.09	0.10	0.03	0.03
Cobre, mg/L Cu	0.04	0.01	0.03	0.05	0.03	0.01	0.03	0.02	0.02
Magnesio, mg/L Mg	199.5	194.2	189.7	197.6	198.7	201.6	196.88	4.27	4.48
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.46	0.59	0.31	0.36	0.45	0.28	0.41	0.11	0.12
Manganeso, mg/L Mn	0.72	0.4	0.9	0.6	0.42	0.45	0.58	0.20	0.21
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	1.01	1.5	0.98	1.7	0.79	0.84	1.14	0.37	0.39
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0	0.01	0	0	0	0.01	0.003	0.001	0.001
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	2710	1890	2020	1700	1650	2090	2010	383.82	402.7
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 21: Resultados generales, estación Cinco Arroyos.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	19.8	19.9	19.8	19.7	19.8	19.8	19.8	0.06	0.07
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	280	310	340	300	350	340	320.00	27.57	28.92
Turbiedad, UNT	3	1	2	1	4	1	2.00	1.26	1.33
Color unidades (Pt -Co)	14	9	15	10	8	10	11.00	2.83	2.97
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	52.38	49.46	44.26	40.32	57.46	52.1	49.33	6.16	6.47
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	263	284	297	268	275	247	272.33	17.32	18.17
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.17	8.23	8	8.1	8.22	8	8.12	0.10	0.11
Sólidos totales disueltos, mg/L	168	149	173	156	163	119	154.67	19.44	20.40
Calcio, mg/L Ca	108.3	122.5	111.3	123.4	106.7	91.19	110.55	11.85	12.43
Zinc, mg/L Zn	0.18	0.12	0.08	0.14	0.2	0.06	0.13	0.05	0.06
Cobre, mg/L Cu	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Magnesio, mg/L Mg	245.8	218.7	240.7	230.6	220.9	181.7	223.06	22.86	23.99
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.46	0.38	0.82	0.66	0.44	0.3	0.51	0.19	0.20
Manganeso, mg/L Mn	1.05	0.84	0.9	1.1	0.89	0.68	0.91	0.15	0.16
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	1.36	1.32	1.56	1.28	0.9	1.62	1.34	0.25	0.27
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	10	10	10	10	10	10	10.00	0.00	0.00
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 22: Resultados generales, estación Los Aguacatillos.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	19.6	19.7	19.7	19.8	19.7	19.7	19.7	0.06	0.07
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	350	330	310	360	310	340	333.33	20.66	21.67
Turbiedad, UNT	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	0.00
Color unidades (Pt -Co)	2	8	1	4	2	1	3.00	2.68	2.82
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	62.85	57.36	49.78	52.74	51.45	53.54	54.62	4.76	5.00
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	223	231	210	221	234	175	215.67	21.63	22.69
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.07	8	7.99	8.01	8.2	7.79	8.01	0.13	0.14
Sólidos totales disueltos, mg/L	154	175	180	149	164	181	167.17	13.64	14.32
Calcio, mg/L Ca	97.22	78.73	90.65	78.92	83.62	93.11	87.04	7.75	8.13
Zinc, mg/L Zn	0.15	0.24	0.32	0.17	0.24	0.32	0.24	0.07	0.08
Cobre, mg/L Cu	0.03	0.01	0.05	0.02	0.01	--	0.02	0.02	0.02
Magnesio, mg/L Mg	192.5	174.5	198.1	182.1	170.3	196.6	185.68	11.81	12.39
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.42	0.27	0.38	0.46	0.32	0.25	0.35	0.08	0.09
Manganeso, mg/L Mn	0.84	1.29	1.12	1.05	1.12	0.7	1.02	0.21	0.22
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	0.25	0.42	0.18	0.22	0.31	0.18	0.26	0.09	0.10
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0	0	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	70	90	60	80	70	50	70.00	14.14	14.84
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 23: Resultados generales, estación Lo de Hernández.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	19.9	19.8	19.8	19.8	19.8	19.7	19.8	0.06	0.07
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	390	410	370	350	380	400	383.33	21.60	22.67
Turbiedad, UNT	5	2	1	4	3	1	2.67	1.63	1.71
Color unidades (Pt-Co)	8	5	3	7	5	2	5.00	2.28	2.39
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	63.45	58.23	47.14	50.21	57.82	40.01	52.81	8.61	9.03
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	224	238	184	236	240	218	223.33	21.12	22.15
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.24	8.1	8.02	8.16	8.03	8.17	8.12	0.09	0.09
Sólidos totales disueltos, mg/L	211	157	195	186	170	223	190.33	24.74	25.95
Calcio, mg/L Ca	92.81	90.26	84.75	88.63	93.56	79.85	88.31	5.21	5.47
Zinc, mg/L Zn	0.18	0.29	0.26	0.17	0.22	0.14	0.21	0.06	0.06
Cobre, mg/L Cu	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Magnesio, mg/L Mg	217.9	201.4	168.5	184.8	174.5	194.8	190.29	18.23	19.13
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.36	0.28	0.4	0.23	0.21	0.32	0.30	0.07	0.08
Manganeso, mg/L Mn	1.15	1.31	1.37	1.22	1.17	1.28	1.25	0.09	0.09
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	1.56	1.35	1.47	1.59	1.54	1.19	1.45	0.15	0.16
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	20	10	40	30	10	10	20.00	12.65	13.27
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla No. 24: Resultados generales, estación San Sebastián.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	20.1	20.1	20	19.9	19.9	20	20.0	0.09	0.09
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	360	320	340	310	300	340	328.33	22.29	23.38
Turbiedad, UNT	5	3	1	2	4	1	2.67	1.63	1.71
Color unidades (Pt-Co)	14	5	12	17	8	16	12.00	4.69	4.92
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	55.12	49.33	45.42	51.78	45.12	44.95	48.62	4.21	4.42
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	281	292	274	280	269	263	276.50	10.17	10.67
Potencial de hidrógeno, unidades pH	8.1	8.09	8.14	8.12	8.12	8.11	8.11	0.02	0.02
Sólidos totales disueltos, mg/L	166	154	170	150	163	159	160.33	7.50	7.87
Calcio, mg/L Ca	102.3	107.5	111.7	108.6	110.4	117.6	109.69	5.05	5.30
Zinc, mg/L Zn	0.11	0.07	0.09	0.1	0.03	0.08	0.08	0.03	0.03
Cobre, mg/L Cu	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Magnesio, mg/L Mg	237.4	229.3	242.8	219.2	225.4	210.4	227.42	11.82	12.40
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.38	0.49	0.41	0.33	0.51	0.4	0.42	0.07	0.07
Manganeso, mg/L Mn	0.75	0.62	0.57	0.69	0.73	0.54	0.65	0.09	0.09
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	1.28	1.43	1.31	1.39	1.42	1.21	1.34	0.09	0.09
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	380	480	410	450	470	270	410.00	78.23	82.08
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	10	40	10	20	10	30	20.00	12.65	13.27

Tabla No. 25: Resultados generales, estación Jumaj.

<b>Características físicas</b>									
Parámetro	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	$\bar{x}$	s	$\beta$
Temperatura, °C	19.8	19.7	19.6	19.7	19.7	19.7	19.7	0.06	0.07
Conductividad eléctrica, $\mu\text{S} / \text{cm}$	360	380	400	450	370	350	385.00	36.19	37.97
Turbiedad, UNT	1	3	1	3	1	1	1.67	1.03	1.08
Color unidades (Pt-Co)	2	5	3	2	4	2	3.00	1.26	1.33
Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
Sabor	NR	NR	NR	NR	NR	NR	--	--	--
<b>Características químicas</b>									
Cloro residual	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cloruro, mg/L $\text{Cl}^-$	47.21	52.46	45.36	50.42	51.02	43.09	48.26	3.64	3.82
Dureza total, mg/L $\text{CaCO}_3$	219	231	250	201	211	216	221.33	17.14	17.99
Potencial de hidrógeno, unidades pH	7.98	8.07	8.03	8.01	8.04	7.99	8.02	0.03	0.04
Sólidos totales disueltos, mg/L	201	190	189	183	208	168	189.83	13.99	14.68
Calcio, mg/L Ca	79.58	83.21	86.34	89.91	84.26	90.12	85.57	4.08	4.28
Zinc, mg/L Zn	0.15	0.09	0.16	0.11	0.07	0.02	0.10	0.05	0.05
Cobre, mg/L Cu	0.05	0	0.04	0.02	0	0.01	0.02	0.02	0.02
Magnesio, mg/L Mg	172.7	188.6	191.2	178	170.7	180.6	180.30	8.29	8.70
<b>Sustancias no deseadas en el agua</b>									
Fluoruro	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total, mg/L Fe	0.22	0.13	0.21	0.17	0.13	0.23	0.18	0.04	0.05
Manganeso, mg/L Mn	0.75	0.59	0.68	0.8	0.61	0.53	0.66	0.10	0.11
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	0.28	0.39	0.43	0.25	0.31	0.44	0.35	0.08	0.08
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0.06	0.02	0	0.05	0.09	0.02	0.04	0.03	0.03
<b>Características microbiológicas</b>									
Grupo coliforme total, UFC/100 mL	60	40	20	70	100	70	60.00	27.57	28.92
<i>E. coli</i> , UFC/ 100 mL	20	10	10	40	30	10	20.00	12.65	13.27

## ANEXO B

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico para el conjunto de mediciones en cada estación y parámetro, ha considerado el cálculo de la media y desviación estándar, lo que permite presentar cada resultado con sus límites de confianza. Para el efecto se han utilizado los siguientes modelos matemáticos:

- Media aritmética:  $\bar{x} = \left( \sum_i x_i \right) / n$
- Desviación estándar:  $s = \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$
- Valor calculado con sus límites de confianza:  $\mu = \bar{x} \pm \beta$

siendo:  $x_i$  : cada una de las mediciones

$n$  : número de mediciones

$\beta$  :  $t(s / \sqrt{n})$

El estudio consideró límites de confianza al 95%, con cinco grados de libertad, ( $n - 1$ ), para lo cual corresponde un valor de  $t$  igual a 2.57, según la tabla 26.

Tabla No. 26: Valores de  $t$  para intervalos de confianza.

Grados de	Valores de $t$ para intervalos de	
	95%	99%
1	12.71	63.66
2	4.30	9.92
3	3.18	5.84
4	2.78	4.60
5	2.57	4.03
10	2.23	3.17
20	2.09	2.85
30	2.04	2.75
50	2.01	2.68
100	1.98	2.63

Fuente: Estadística Para Química Analítica. J.C. & J.N Miller, página 30.