

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**Análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala**



**Ludwin Oswaldo Barahona Santos**

**Químico Farmacéutico**

**Guatemala, Noviembre 2017**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**Análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala**



**Informe de Tesis**

**Presentado por:  
Ludwin Oswaldo Barahona Santos**

**Para optar al título de:**

**Químico Farmacéutico**

**Guatemala, Noviembre 2017**

## **JUNTA DIRECTIVA**

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M.A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS** Por ser el centro de mi vida y darme tantas alegrías y buenos momentos así como ayudarme en momentos difíciles que es cuando más lo necesité. A Jesús del Consuelo y Señor Sepultado del templo de la Recolectión muy agradecido por darme la bendición de cumplir esta meta por la que tanto luché.
- A MI MADRE** Marisela Santos, por corregirme y regañarme cuando tomé malas decisiones, por estar siempre para mí sin importar la circunstancia, por nunca dejarme solo y por demostrarme su cariño.
- A MI PADRE** Gelber Barahona, por ayudarme siempre a tomar el mejor camino, por darme sus consejos y corregirme cuando fue necesario. Por el apoyo tan grande que me dio desde que empecé la carrera y que nunca se negó a darme lo que fuera necesario para poder cumplir esta meta.
- A MI HERMANA** Lubia Barahona, por todo el apoyo que me brindó y que a pesar de cualquier circunstancia ella y mis padres siempre estuvieron apoyándome, son el tesoro que más amo en la vida.
- A MI NOVIA** Tania Carías, por apoyarme en momentos difíciles, por estar conmigo a pesar de todas las dificultades. Me ayudó a ser fuerte cuando lo necesitaba, por ayudarme, desvelarse conmigo, ayudarme a estudiar por todo lo que me dio le estoy muy agradecido.
- A MIS ABUELAS** María Olivia Castellanos, por preocuparse toda la vida por mí, por ser servicial conmigo y ayudarme de la manera más sencilla pero siempre ha estado y sé que estará conmigo mucho tiempo más.
- Vitalina Barillas, un ángel en el cielo, que desde pequeño siempre deseó verme triunfar y ser un hombre de bien.
- A MI ABUELO** Cesar Barahona, por estar siempre pendiente, por demostrarme su cariño y ver alegría en su rostro por cada paso que doy en la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS:** por darme salud, paciencia y la inteligencia para llegar a la meta de este largo camino.

**A MIS PADRES:** gracias por educarme y corregirme para tomar siempre las mejores decisiones, por ser un ejemplo de lucha y esfuerzo.

**A MI HERMANA:** por su apoyo cuando lo necesitaba.

**A MI NOVIA:** por toda la ayuda que me dio a lo largo de la carrera, por nunca dejarme solo en momentos difíciles.

**A MI TÍO:** gracias tío Nelson por su ayuda y el apoyo que me dio. Gracias por estar siempre pendiente de mi familia.

**A MIS AMIGOS:** gracias por ser un apoyo y su confianza en mi carrera y en mi vida, espero la amistad dure para siempre.

**A MI ASESORA:** Licenciada Julia Amparo García Bolaños por ayudarme y guiarme en este último paso, gracias por todo por el tiempo que me brindó.

**A MI REVISORA:** Licenciada Aylin Evelyn Santizo Juárez por revisar cada uno de los documentos que le presenté y tomarse el tiempo de corregirme en el proceso de la tesis.

**A LA USAC:** y principalmente a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia por permitirme estudiar y formarme como profesional.

## ÍNDICE

<b>1. Resumen</b>	<b>8</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>3. Antecedentes</b>	<b>10</b>
3.1. Generalidades del lugar de muestreo	10
3.1.1. Ubicación Geográfica y colindancias	10
3.1.2. Hidrografía de Aldea Boca del Monte	11
3.2. Agua y sus datos generales	11
3.2.1. Usos del agua	13
3.2.2. Tipos de agua	13
3.3. Contaminación de agua	16
3.3.1. Microorganismos Patógenos	19
3.3.2. Desechos orgánicos	19
3.3.3. Sustancias químicas inorgánicas	20
3.3.4. Nutrientes Vegetales Inorgánicos	20
3.3.5. Compuestos orgánicos	20
3.3.6. Sedimentos y materiales en suspensión	20
3.3.7. Sustancias Radiactivas	20
3.3.8. Contaminación Térmica	20
3.4. Aspectos legales del agua potable	21
3.5. Análisis Físico	25
3.5.1. Color	25
3.5.2. Olor-sabor	25
3.5.3. Turbidez	26
3.5.4. Sólidos	26
3.5.5. Temperatura	27
3.6. Análisis Químico	27
3.6.1. pH	27
3.6.2. Cloro, cloruro y cloro residual	28
3.6.3. Sulfatos	29

3.6.4.	Compuestos halogenados	29
3.6.5.	Dureza	30
3.6.6.	Hierro	31
3.7.	Métodos para tratar aguas contaminadas	31
3.8.	Calidad Microbiológica del agua potable	32
3.8.1.	Principales microorganismos transmitidos por el agua	33
3.8.2.	Enfermedades transmitidas por agua contaminada	38
3.8.3.	Muestreo, transporte, conservación de muestras de agua	39
3.8.4.	Análisis microbiológico	40
3.8.5.	Acondicionado y transporte de la muestra	40
3.8.6.	Métodos de análisis microbiológicos	41
3.9.	Publicaciones previas	46
<b>4.</b>	<b>Justificación</b>	<b>48</b>
<b>5.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>49</b>
5.1.	Objetivo General	49
5.2.	Objetivos Específicos	49
<b>6.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>51</b>
7.1.	Universo de Trabajo	51
7.2.	Muestra	51
7.3.	Materiales y Equipo	51
7.4.	Métodos	52
7.5.	Diseño de la Investigación	59
<b>8.</b>	<b>Resultados</b>	<b>60</b>
<b>9.</b>	<b>Discusión</b>	<b>79</b>
<b>10.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>85</b>
<b>11.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>86</b>
<b>12.</b>	<b>Referencias</b>	<b>87</b>
<b>13.</b>	<b>Anexos</b>	<b>93</b>

## 1. RESUMEN

El presente estudio se realizó para analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua que se distribuye en la Colonia los Ángeles de la Zona 2 de Boca del Monte, Municipio de Villa Canales. El análisis se realizó tomando muestras de agua directamente del pozo, el tanque y en 20 de las viviendas de dicha colonia para hacer un total de 22 muestras; este proceso se realizó por duplicado (haciendo un total neto de 44 muestras) una vez en época seca y otro en época lluviosa para establecer si había diferencia de concentración de los diversos contaminantes, debido a que la lluvia aumenta la filtración de agua en las capas de la tierra y la contaminación en algunos casos puede aumentar.

Los parámetros físicos analizados fueron el color, olor, turbidez, sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica. Los parámetros químicos analizados fueron pH, dureza total, hierro total, calcio, magnesio, manganeso, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, zinc y cobre. Para evaluar la calidad microbiológica del agua se analizaron Coliformes totales y *Escherichia coli* por el método del Número más Probable (NMP). Toda la metodología utilizada está validada ya que se basó en los "Standard Methods for the examination of water and wastewater". Todos los parámetros fisicoquímicos están dentro de los parámetros que exige la Norma COGUANOR NGT 29001 pero en los aspectos microbiológicos ninguna de las muestras cumplió con las especificaciones de la norma (no detectable/100ml de muestra) obteniendo un crecimiento detectable por el método del Numero Más Probable (NMP).

El muestreo y análisis se realizó durante la época seca y lluviosa del año 2017 encontrando diferencia principalmente en la contaminación microbiológica la cual disminuyó en la época lluviosa, esto debido a que se realizó un lavado completo al tanque de recolección y distribución de agua entre los muestreos. Basándose en los resultados obtenidos, el agua no es apta para el consumo humano según la norma COGUANOR NGT 29001 ya que aunque los parámetros fisicoquímicos analizados si cumplen, la contaminación microbiológica está presente en todas las muestras que se analizaron; esta contaminación se debe a varios factores y el principal es que el agua no es clorada y que el tanque no es lavado periódicamente, por lo que se dio la recomendación a la autoridad correspondiente para una cloración y lavado constante y así, mejorar la calidad del agua que se distribuye a la población de Boca del Monte.



## 2. INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido incoloro e inodoro y es uno de los recursos más importantes para el ser humano y para el mantenimiento de la vida misma. El agua debe tener un manejo y cuidado delicado ya que tiene diversos usos, uno de ellos y el más importante es el consumo humano. El agua es un solvente universal que puede encontrarse tanto en superficies como a nivel subterráneo y dependiendo de la fuente del agua, a veces puede contener contaminantes que pueden ser nocivos para la salud de los consumidores (Córdoba, Del Coco y Basualdo, 2010).

Guatemala es un país rico en agua, que gracias a su geografía y clima ayuda a que sea un recurso abundante en nuestra región. Nuestro país afronta una gran crisis en cuanto al manejo y preservación del agua como recurso y esto ha causado sequías e inundaciones. Estos y otros problemas hacen que se vaya limitando la cantidad de agua o bien que no pueda ser utilizada debido a contaminación; el crecimiento demográfico y urbanización, tala de árboles, procesos de agricultura y desarrollo industrial ha hecho que se cause más contaminación. (Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente et al, 2014). Toda la población guatemalteca debería contar con un servicio de agua potable y que cumpla con las normas establecidas para el consumo, ya que el agua, es un vector importante en el que pueden transmitirse diversas enfermedades a nivel gastrointestinal.

En los hogares, el agua se utiliza para consumo, en la cocina, para lavar alimentos, lavado de manos, etc., y debido a esto se necesita que el agua esté libre de contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos. La forma más sensible de verificar la calidad del agua es a través del examen bacteriológico en donde los principales contaminantes son bacterias de origen fecal conocidas como coliformes y pueden ser de origen humano o animal, en donde el indicador principal es *la Escherichia coli* (Marín, 2003). La mayoría del agua de pozo es segura para beber, pero puede conllevar riesgos para la salud, ya que siempre pueden haber microorganismos patógenos y algunos compuestos químicos que pueden ser dañinos; debido se realizó un análisis de la potabilidad del agua de pozo que se distribuye en la Colonia los Ángeles de la zona 2 de Boca del Monte, Municipio de Villa Canales, Guatemala para verificar que se cumpla con la norma COGUANOR NTG 29001 de agua potable. De este pozo dependen aproximadamente 50 familias, por lo que es el objetivo del estudio, evaluar y confirmar que el servicio prodigado se potable, confiable, seguro e inocuo.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Generalidades del Lugar de Muestreo

Boca del Monte es una aldea del Municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala. Dicha aldea está a 8 kilómetros del dentro de la Ciudad y cuenta con 1350 MSN (Gall, 1976). Boca del monte se divide en varias zonas, colonias y caseríos por lo que los servicios de agua son abundantes también.

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica y colindancias

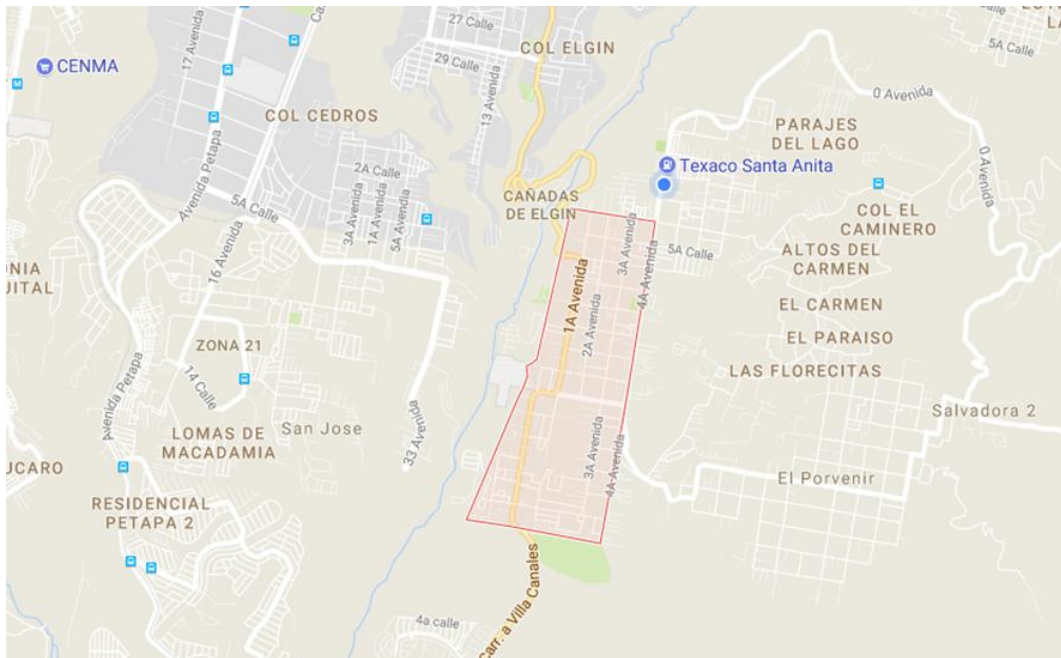
Boca del Monte está a 12 Km de la ciudad capital, tiene una latitud 14°32'30" y una longitud 90°31'44" y como ya se mencionó es parte del Municipio de Villa canales. Tiene una extensión territorial de 5.18 Km cuadrados de área total. Es una aldea muy importante en cuanto a accesos y salidas ya que tiene salida a carretera a El Salvador, Zonas 10, 14 y 15, Villa Hermosa, San Miguel Petapa y Amatitlán. (Instituto Nacional de Geografía, 2017).

Sus colindancias son:

- Al norte colinda con la zona 13 de la ciudad capital, así como con Santa Catarina Pinula
- Al sur colinda con la finca San Agustín, y también con Villa Hermosa y Villa Canales.
- Al este colinda con Santa Catarina Pinula.
- Al oeste colinda con un barranco y la colonia Justo Rufino Barrios, zona 21 de la capital. (Instituto Nacional de Geografía, 2017)

El área específica donde se tomarán las muestras es en la Zona 2 de Boca del Monte en Colonia los Ángeles, una colonia que con los años ha ido incrementando el número de casas y cuenta con aproximadamente 50 familias residiendo en el lugar. Esta colonia colinda con Colonia Santa Anita y Residencial Villa Lozana y en su ancho pasa en forma subterránea un drenaje de agua llovediza que proviene desde Santa Catarina Pinula.

**Imagen No.1 Boca del Monte, Villa Canales**



Fuente: Google Maps, 2017. Recuperado de:

<https://www.google.com.gt/maps/place/Boca+del+Monte>

### **3.1.2 Hidrografía de Aldea Boca del Monte**

1. Río Guadrón
2. Río Pínula
3. Río Las Minas
4. Riachuelo Panasequeque
5. Quebrada el Chorro
6. Quebrada Seca
7. Quebrada el Cangrejito (Instituto Nacional de Geografía, 2017)

Estos ríos actualmente están ya secos y solamente se crecen para épocas lluviosas con aguas sucias y muchos sólidos por la cantidad de contaminación que existe actualmente en la aldea. En el Anexo No.1 se puede observar la ubicación geográfica.

### 3.2 Agua y sus datos generales

Se tiene entendido que el agua es un recurso necesario para que el ser humano pueda sobrevivir, sin embargo hay ocasiones en que dicho elemento básico es portador de microorganismos y parásitos que pueden causar enfermedad e incluso la muerte. Más de mil millones de personas en el mundo tienen acceso limitado al agua potable; debido a la escasez hay aproximadamente un 80% de desarrollo de enfermedades. Por lo tanto para poder preservar la salud de la población, es de suma importancia proteger las fuentes que se encargan de suministrar agua potable, con el objetivo de reducir la contaminación que pueda darse (Córdoba, Del Coco y Basualdo, 2010).

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica son factores de riesgo (OMS, 2017).

La tierra está cubierta de agua en  $\frac{3}{4}$  partes de toda su superficie, por lo que es un recurso muy abundante e importante para la subsistencia del todo ser vivo. El agua se compone de 3 átomos, dos de hidrógeno y uno de oxígeno por lo que su estructura química se resume como  $H_2O$ ; estos elementos están unidos entre sí por puentes de hidrogeno. El agua tiene estado líquido y se puede encontrar en ríos, océanos, lluvia y agua subterránea. Del agua total del planeta, el 98% es agua salada que se encuentra en mares y océanos; el agua dulce, en un 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieve, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0,7% se encuentra en forma de ríos y lagos (Kemmer, 1990). De este total de agua el que es importante para el ser humano es el agua dulce subterránea ya que la mayoría de servicios de agua potable, la obtienen de esta fuente.

**Tabla No.1 Distribución de agua en el planeta**

Distribución	Porcentaje de agua total del planeta	Porcentaje del total de agua dulce	Tiempo de residencia*
<b>Océanos y mares</b>	97.5		2500 años
<b>Glaciares y polos</b>	1.74	68.7	9700 años
<b>Aguas subterráneas dulces</b>	0.76	30.1	Decenas a miles de años
<b>Lagos de agua dulce</b>	0.007	0.26	17mil años
<b>Lagos de agua salada</b>	0.006		150 años
<b>Ríos</b>	0.0002	0.006	15 a 20 días
<b>Biomasa</b>	0.0001	0.003	Horas
<b>Atmósfera</b>	0.001	0.04	8 a 10 días

Fuente: García, 2009

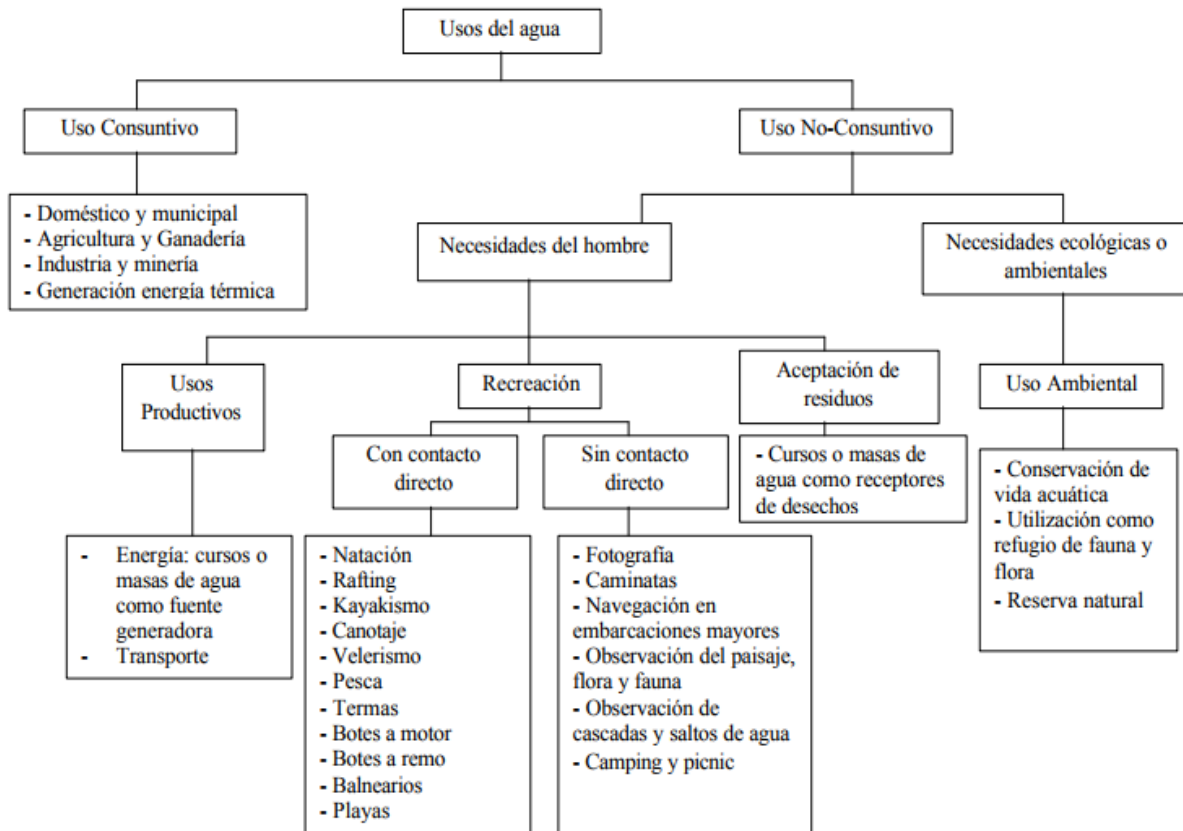
\*Tiempo medio que una molécula de agua pasará en esa reserva.

El agua tiene un punto de fusión de 0°C, punto de ebullición de 100°C, gravedad específica de 1, densidad de 1mL/cc, presión crítica de 217.5 atmósferas y temperatura crítica de 374°C. Por su fórmula química tiene diversas propiedades, puede reaccionar químicamente con óxidos básicos, metales, no metales sobre todo con los halógenos. (García, 2009)

### 3.2.1 Usos del agua

El agua es empleada de diversas formas prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios como puede verse en la imagen No. 2.

Imagen No. 2 Clasificación de usos del Agua



Fuente: Ministry of Supply and Services Canada, 1993

- **Uso Industrial:** el agua es uno de los recursos más importantes en la industria, porque es usada como materia prima, para enfriar, como solvente, agente de transporte y como fuente de energía para los propios procesos industriales. Se utiliza en todo tipo de industria como alimentos, medicamentos etc.
- **Uso municipal:** se considera el uso público, comercial y residencial, incluyéndose todos los usos domésticos del agua como beber, cocinar, limpiar, etc. Este es el uso más común que se le da al agua ya que es indispensable en cualquier residencia.
- **Agricultura:** se utiliza para riegos de siembras en todo el mundo.
- **Minería:** el agua es utilizada para separar los minerales de rocas y limpiar los materiales de desecho del material que quiere recuperarse.

- **Generación de energía:** dentro de este uso se incluyen plantas de energía convencional y nuclear. El agua es uno de los recursos más importantes usados en la producción de energía.
- **Transporte:** para fines turísticos y de comercio
- **Pesca:** para obtención de alimentos así como comercio.
- **Aceptación de residuos:** los lagos y ríos son usados como receptores de desechos industriales y humanos. Aún cuando el agua es capaz de asimilar y diluir en gran parte los desechos, existen límites de absorción hasta para los cuerpos de agua más grandes. Esta es una práctica de las poblaciones sin drenajes o las industrias; es por esto que ha aumentado la contaminación de agua y cuando no hay un buen tratamiento de aguas es cuando empiezan a darse infecciones y otras enfermedades a través de los servicios de agua potable.

(Ministry of Supply and Services Canada, 1993)

### 3.2.2 Tipos de agua

- **Agua Potable:** Agua apta para ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades infecciosas.
- **Agua salada:** Agua normalmente encontrada en mares y océanos, con alta concentración de sales es alta (más de 10,000 mg/L). Esta no es apta para consumo humano.
- **Agua salobre:** este tipo de agua contiene sal pero tiene una concentración menor al agua salada. La concentración del total de sales disueltas está generalmente entre 10 y 10,000mg/L.
- **Agua dulce:** Agua natural con una baja concentración de sales incluso trazas de estas. Esta puede ser base para producir agua potable con un tratamiento adecuado y con normas establecidas.
- **Agua dura:** esta agua contiene una concentración de iones positivos elevada, la cual se define por el número de átomos de calcio y magnesio presentes en la solución.
- **Agua blanda:** tiene una baja concentración de átomos de calcio y de magnesio.

- **Aguas negras, residuales o aguas de deshecho:** agua contaminada después de haber sido utilizada por una población, la cual puede contener residuos, otros líquidos o incluso gases. Estas aguas se producen tanto en casas comunes como a nivel industrial y pueden llegar a contaminar agua subterránea. Este tipo de agua también puede contener materia orgánica disuelta o suspendida.
- **Agua bruta:** es el agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o bien, agua que entra en una planta para su posterior tratamiento. También se conoce como agua cruda.
- **Aguas muertas:** aguas que no tienen suficiente cantidad de oxígeno y que está estancada sin ningún tipo de circulación.
- **Agua alcalina y ácida:** agua que tiene pH superior e inferior a 7 respectivamente.
- **Agua subterránea:** agua que está bajo la capa terrestre, comúnmente utilizada como agua de pozo, la cual es extraída para servicios de agua potable en diferentes poblaciones. (Jenkins, 1995)

### 3.3 Contaminación de agua

La contaminación del agua puede tener infinidad de causas. El término "contaminación de agua potable" hace referencia a todos los factores contaminantes que pueden estar presentes en el agua que es de utilidad para el consumo humano directo. Dado que se tiene una amplia variedad de fuentes de donde las personas logran obtener el agua para beber (ya sean fuentes superficiales o subterráneas), es necesario una red segura conformada por conductos y así asegurar la calidad y la salud poblacional (Donis, 2008).

Generalmente, la contaminación del agua está asociada con la presencia de diversos patógenos, metales, tóxicos orgánicos e incluso productos residuales de desinfección; sin embargo, los problemas que afectan a la salud de las personas, suelen ser los más constantes provocando enfermedades del tracto gastrointestinal cuyo origen sería la ingestión de agua contaminada, aunque desde el punto de vista químico, la contaminación provoca que los problemas de salud suelen ser a largo plazo (Donis, 2008).

De acuerdo con datos proporcionados con el Instituto Nacional de Estadística (INE), ha señalado que hay una cierta población que ingiere agua de pozos, ríos o lagos, y se considera que



la potabilidad del agua es adecuada en la Ciudad Capital. En el interior del país, según datos del Instituto de Fomento Municipal (INFOM), solo un 24% tiene acceso a agua potable de calidad (Donis, 2008).

La situación que enfrentan algunos países latinoamericanos se ha tornado un tanto crítica, esto en parte a que muchos de los acuíferos que abastecen agua a una cantidad considerable de municipios han sufrido sobreexplotación y/o aumento de la contaminación (Foster, Hirata, Gomes, D'Elia & Paris, 2003).

A gran escala, las estrategias de protección de agua tienen que ser promovidas por entidades gubernamentales; sin embargo es importante la atención de esta protección a fuentes de abastecimiento de agua específicas (Foster, Hirata, Gomes, D'Elia & Paris, 2003).

Se ha demostrado que la introducción de contaminantes a las fuentes acuíferas tiene mucho que ver con la lluvia, la naturaleza geológica de la cuenca colectora o del manto acuífero y las actividades de la población humana (Kemmer, 1990).

Actualmente la contaminación microbiológica del agua esta originada en el uso del agua como transporte de desechos domésticos, humanos y residuos sólidos de toda la población; el crecimiento de la demanda de agua por expansión urbana y la industrialización, por devolución de aguas a medios receptores superficiales y subterráneos como los ríos o drenajes que conectan con estos; el aporte de viviendas no conectadas a redes de alcantarillado o en el caso de poblaciones de escasos recursos que aún tienen pozos sépticos o pozos negros que se saturan y contaminan las capas subterráneas y contribuyen a la degradación de ríos y lagos. También resulta pertinente el caso de viviendas que teniendo alcantarillado no disponen de sistema de tratamiento alguno, lo que origina que ríos en proximidades de ciudades se hayan convertido en alcantarillas abiertas y que sus cursos de agua contengan alta carga de aguas negras (Mendizabal, 2010).

Los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grandes grupos como lo son la materia disuelta y los compuestos insolubles como se puede ver en las tablas No.2 y No.3. Muchos de los materiales son transitorios debido a la actividad biológica. En cambio hay otros contaminantes como el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  puede cambiar dependiendo de la luz solar. Otros contaminantes dependen del equilibrio entre  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ . También existen procesos en los que la naturaleza puede reciclar materia a través de organismos vivos (Kemmer, 1990).

**Tabla No.2 Materiales solubles en los suministros acuíferos**

Clase	Componentes
1	<b>Más de 5mg/L</b>
	Bicarbonato, Calcio, Cloruro, Magnesio, Materia orgánica, Sílice, Sodio , Sulfato, Sólidos totales
2	<b>Más de 0.1 mg/L</b>
	Amoníaco, Borato, Fluoruro, Hierro, Nitratos, Potasio, Estroncio.
3	<b>Más de 0.01 mg/L</b>
	Aluminio, Arsénico, Bario, Bromuro, Cobre, Plomo, Litio, Manganeso, Fosfato, Zinc
4	<b>Componentes Traza - Menos de 0.01 mg/L</b>
	Antimonio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Mercurio, Níquel, Estaño, Titanio
5	<b>Componentes Transitorios</b>
	Acidez-alcalinidad, Ciclo del carbono, Ciclo del Oxígeno, Ciclo del Nitrógeno, Ciclo del Azufre, Materiales oxidantes, Residuos de tratamiento, Sustancias orgánicas.

Fuente: Kemmer, 1990

**Tabla No. 3 Componentes Insolubles en los Suministros Acuíferos**

Clase	Componentes
1	<b>Sólidos</b>
	Flotando, sedimentables y suspendidos
2	<b>Organismos Microbianos</b>
	Algas, bacterias, hongos y virus

Fuente: Kemmer, 1990

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el agua está contaminada cuando su composición o estado natural se ve modificada de tal modo que pierde sus propiedades, las cuales la hacen apta para un consumo humano sin que cause daños. El agua contaminada puede presentar alteraciones de color, olor, turbidez.

La contaminación puede ser de origen natural o bien antrópico, este último se puede producir por actividades realizadas por el mismo ser humano como tala de árboles, falta de

drenajes, botar basura en drenajes o calles e industrialización, que todo en conjunto produce contaminación del agua. (García, 2009). Las principales fuentes de contaminación atrófica son:

- Vertidos de aguas residuales principalmente en poblaciones con falta de drenajes
- Vertidos de explotaciones ganaderas
- Vertidos de aguas residuales agrícolas
- Vertidos de aguas industriales, las cuales son las más peligrosas para el medio ambiente ya que en algunos casos hay componentes como petróleo, grasas, fenoles sólidos, tóxicos, entre otros
- Presas y mineras que vierten compuestos de deshecho (García, 2009)

Los contaminantes del agua pueden clasificarse en 8 grupos y se clasifican según diversos criterios como puede verse a continuación:

**3.3.1 Microorganismos Patógenos:** estos pueden ser bacterias, virus, protozoarios que pueden transmitir enfermedades como el cólera, hepatitis, tifus, entre otras. Estas enfermedades que tienen como vector el agua, son una causa muy grande de muerte infantil en países que están aún en vías de desarrollo. Normalmente la contaminación del agua es por medio de las heces, cuando las personas no tienen la higiene necesaria para manipular alimentos o bien, no hay correcto lavado de manos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que en 100mL de agua no debe haber ni una sola colonia de bacterias coliformes. (García, 2009)

**3.3.2 Desechos orgánicos:** los compuestos orgánicos son los producidos por todo ser vivo y dentro de estos el más importante por su alta contaminación son las heces fecales; también pueden ser productos orgánicos que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas o que requieren oxígeno. Hay un índice llamado DBO (demanda biológica de oxígeno) el cual se utiliza para ver el volumen de oxígeno que se consume en un plazo fijo de 15 días a una temperatura de 15 grados centígrados. Con esto se puede concluir que al aumentar la DBO menor va ser la calidad del agua, ya que entre más oxígeno se consuma significa que hay más bacterias aeróbicas (García, 2009).

**3.3.3 Sustancias químicas inorgánicas:** estos compuestos pueden ser minerales, ácidos, mercurio, plomo, cadmio, arsénico y otros metales. Estos compuestos en grandes concentraciones pueden dañar la salud de los seres vivos a largo plazo. (García, 2009)

**3.3.4 Nutrientes Vegetales Inorgánicos:** los nitratos y los sulfatos son compuestos solubles en agua y que las plantas necesitan para desarrollarse. Estos compuestos al estar en altas concentraciones producen crecimiento de algas, las cuales al morir son descompuestas a su vez por otros microorganismos, lo que produce aguas muertas (sin oxígeno) y que no son aptas para el consumo humano. (García, 2009)

**3.3.5 Compuestos orgánicos:** hay compuestos de diversas fuentes que pueden contaminar las aguas como el petróleo, plásticos, las grasas, plaguicidas y disolventes. Estos pueden llegar a ser tóxicos y causar incluso la muerte si se consumen en altas cantidades. Del agua total del planeta, son los mares y océanos los que más probabilidad tienen de contaminarse con hidrocarburos del petróleo. (García, 2009)

**3.3.6 Sedimentos y materiales en suspensión:** esta es la mayor parte de contaminación de las aguas. Cualquier sólido puede ser arrastrado por las corrientes de agua y unos se sedimentan mientras otros pueden quedar suspendidos. Estos provocan turbidez, aguas no aptas para la vida de microorganismos o peces hasta convertirse en pantanos. (García, 2009)

**3.3.7 Sustancias Radiactivas:** hay isótopos radiactivos que pueden diluirse en el agua y alcanzar grandes concentraciones en los cuerpos de agua. (García, 2009)

**3.3.8 Contaminación térmica:** la liberación de aguas a temperaturas altas que son liberadas por industrias, pueden disminuir la cantidad de oxígeno en el agua, lo que puede provocar que el agua no sea apta para la vida de organismos. Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, ya que no están tan expuestas al ser humano, el problema es que cuando se contaminan es más difícil poder tratarlas, debido a que estas aguas tienen un índice de renovación lento. (García 2009).

### 3.4 Aspectos legales del agua potable

Se denomina agua potable al agua bebible en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades o que pueda causar algún otro tipo de daño (Romero, 2006). El término se aplica al agua que ha sido tratada para consumo humano según estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales. En el caso de Guatemala la calidad del agua potable está regulada por la Norma COGUANOR NGT 29001. COGUANOR es una entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es la de proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

El objetivo de la creación de leyes y normas con respecto al consumo de agua no quiere decir que los sistemas que abastecen el agua hacia otros lugares deban ser clausurados por alguna deficiencia en el control y manejo de este recurso, al contrario, deben garantizar que el consumidor pueda tener acceso a agua potable inocua. Para que eso no suceda, se debe tener un control eficaz del agua de consumo apoyado por la existencia de leyes, normas y códigos adecuados (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Por lo general, las regulaciones describirán la responsabilidad y la autorización de cierto número de organismos que puedan ser aceptados, asimismo describirán las relaciones entre ellos, estableciendo principios básicos de políticas. Las normas nacionales, serán acatadas según se requiera y estas deben ser aplicables a todos los sistemas que se encargan de abastecer el agua (Organización Mundial de la Salud, 2006).

El proveedor de este recurso tan importante, debe tomar en cuenta que deberá tener funciones y responsabilidades jurídicas, ya que debe tener conocimiento de que será el encargado de la calidad de agua que vende o suministra al consumidor; así mismo, de la correcta supervisión, inspección, mantenimiento y funcionamiento seguro de su sistema de abastecimiento de agua de consumo (Organización Mundial de la Salud, 2006).

No debe existir demora alguna en cuanto a la aplicación de programas para suministrar agua potable, de ser posible se debe fomentar, el suministro de agua potable a través de actividades educativas, por ejemplo, siempre y cuando estén basados en la legislación civil, entre consumidor y proveedor, o incluso mediante medidas provisionales, como por ejemplo leyes relacionadas con la salud, el bienestar y la alimentación (Organización Mundial de la Salud, 2006).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, es importante, definir metas, ya sea a corto y mediano plazo para poder controlar en primer lugar los riesgos que sean importantes para la salud de las personas (Organización Mundial de la Salud, 2006).

### 3.4.1 Reglamento para calidad de agua potable (Norma COGUANOR NGT 29001)

Esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano. A continuación se presentan los límites que establece la norma para calidad microbiológica y fisicoquímica en Guatemala.

- Límite máximo aceptable (LMA): se refiere al límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua pasa a ser rechazable para el consumidor, pero no implica daños a la salud del mismo.
- Límite máximo permisible (LMP): se refiere al límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua no es adecuada para el consumo humano.

**Tabla No.3 Características físicas y organolépticas que debe tener el agua potable**

Características	LMA	LMP
<b>Color</b>	5,0 u	35,0 u <sup>(a)</sup>
<b>Olor</b>	No rechazable	No rechazable
<b>Turbidez</b>	5,0 UNT	15,0 UNT <sup>(b)</sup>
<b>Conductividad eléctrica</b>	750 Siemens/cm	1500 Siemens/cm <sup>(d)</sup>
<b>Potencial de hidrógeno</b>	7,0-7,5	6,5-8,5 <sup>(c) (d)</sup>
<b>Sólidos totales disueltos</b>	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto  
 (b) Unidades nefelométricas de turbidez (UNT).  
 (c) En unidades de pH  
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: Norma COGUANOR NGT 29001

**Tabla No.4 Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
<b>Cloro residual libre<sup>(a)</sup></b>	0,5	1,0
<b>Cloruro (Cl<sup>-</sup>)</b>	100,0	250,0
<b>Dureza Total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	100,0	500,0
<b>Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)</b>	100,0	250,0
<b>Aluminio (Al)</b>	0,050	0,100
<b>Calcio (Ca)</b>	75,0	150,0
<b>Cinc (Zn)</b>	3,0	70,0
<b>Cobre (Cu)</b>	0,050	1,500
<b>Magnesio (Mg)</b>	50,0	100,0
<b>Manganeso total (Mn)</b>	0,1	0,4
<b>Hierro total (Fe)<sup>(b)</sup></b>	0,3	-----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.

b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Norma COGUANOR NGT 29001

**Tabla No.5 Relación de las Substancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN <sup>-</sup> )	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	1,50
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50,0
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3,0

Fuente: Norma COGUANOR NGT 29001

**Tabla No.6 Valores guía para la verificación de calidad microbiológica del agua**

Microorganismos	Límite Máximo Permissible
<b>Agua para consumo directo</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada que entra al sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
<b>Agua tratada en el sistema de distribución</b> Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

Fuente: Fuente: Norma COGUANOR NGT 29001



### **3.5 Análisis físico**

El análisis físico del agua trata las mediciones y los registros de todas las propiedades que puedan ser detectadas por los sentidos, e incluye propiedades organolépticas como olor, color y sabor. Estas características al estar alteradas pueden ser indicio de que las propiedades químicas del agua tampoco están en los rangos aceptados. (Marín, 2003)

#### **3.5.1 Color**

El color verdadero del agua se debe a la presencia de materiales en solución, pero puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión. Principalmente el color se encuentra en las aguas superficiales o en algunos pozos poco profundos y manantiales; las aguas de pozos profundos son incoloras (Ramos, 2006). Su medida se basa en el hecho de que el color producido por las sustancias de carácter natural de un agua es muy similar al desarrollado por mezclas de  $K_2$ ,  $Cl_2$ , Pt y  $CoCl_2$ . La longitud de onda máxima de absorción corresponde entonces a 430-440nm. Este método del Cloroplatino Potásico (método RTS) no es aplicable a aguas residuales industriales que están muy coloreadas por sustancias inorgánicas y que su absorción se podría producir en otras zonas del espectro (Marín, 2003).

#### **3.5.2 Olor – sabor**

Estas características están ligadas o asociadas ya que una misma sustancia puede dar el olor y el sabor como por ejemplo el plancton. No existen instrumentos específicos para estas propiedades pero generalmente se pueden reportar como presentes o no presentes. (Jenkins 1983). Existe una técnica que se basa en diluciones, cada vez en menor concentración para lograr disminuir tanto el olor como el sabor. Se necesita un panel de catadores para conseguir resultados que sean aceptables. Esta agua deberá estar tratada (filtración por ejemplo) para que no provoque ningún tipo de daño a las personas que están incluyéndose en el análisis. (Marin 2003).

La influencia de los olores a bajas concentraciones sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que el daño que pueden producir al organismo. Concentraciones altas de olores molestos pueden producir falta de apetito, náuseas y vómitos.

### 3.5.3 Turbidez

Se conoce como turbidez a la capacidad que tiene una materia suspendida para obstaculizar el paso de la luz. La turbidez es producida por una gran variedad de causas, una de ellas es la erosión natural la cual aporta muchos sedimentos a los cauces de los ríos. También la contaminación por industria y los desechos humanos causan turbidez en las aguas. (Sierra, 2011)

La turbidez puede ser por compuestos inorgánicos o bien por sustancias antrópicas. Debido a esto la turbidez es de mucha importancia en el tratamiento de agua, ya que el agua turbia no es del agrado para la población y da indicios de contaminación (Sierra, 2011).

La turbidez puede ser tratada con filtración y cloración para su desinfección. La filtración puede volverse muy costosa cuando la turbidez es mucha y eso puede propiciar que los filtros se saturen. Si el agua es muy turbia se debe utilizar también cloro para desinfectarla. La turbidez se puede expresar con unidades de turbidez (Tebbutt, 2003).

Una unidad es una cantidad patrón empírica producida al agregar mg de SiO<sub>2</sub> a 1 litro de agua destilada. El turbidímetro de Jackson es el instrumento ideal del laboratorio para medir la turbidez. Actualmente se utilizan equipos basados en principios nefelométricos en el que la sustancia patrón a medir no es sílice sino una mezcla de sulfato de hidralazina hexametiltetramina y los resultados se dan en UNT. (Sierra, 2011)

**Tabla No. 7 Unidades para transformar Turbidez**

Unidad	JTU	UNT	SiO <sub>2</sub> mg/L
JTU	1.0	19	2.5
UNT	0.053	1	0.3
SiO <sub>2</sub> mg/L	0.4	7.5	1

Fuente: Sierra, 2011

### 3.5.4 Sólidos

Para establecer la calidad de agua, también es necesario realizar un estudio o análisis de la cantidad de sólidos que contiene la muestra de la misma. El primer tipo de sólidos importantes a determinar son los sólidos totales (ST), que se definen como el material que queda después de evaporar una muestra de agua a 105 grados centígrados; es decir, ST es todo aquello presente en

la muestra que no sea agua. (Sierra, 2011). También existen sólidos sedimentables, que son los que pueden quedar en el fondo después de reposar una muestra de agua durante 60 minutos.

Entonces los sólidos totales se dividen en sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los sólidos disueltos pueden calcularse filtrando la muestra de agua y determinando cuánto fue lo que quedó en el papel filtro por ejemplo. Si la muestra se somete a 600 grados centígrados se van a obtener los sólidos disueltos fijos (SDF) y por diferencia se pueden obtener los sólidos disueltos volátiles (SDV). Los sólidos suspendidos (SS) se determinan restando los sólidos disueltos de los sólidos totales (Tebbutt, 2003).

### **3.5.5 Temperatura**

La temperatura es el parámetro físico más importante del agua. Esta puede afectar la viscosidad y la velocidad de todo tipo de reacciones químicas e interviene en la mayoría de procesos utilizados en el agua como la sedimentación y la coagulación (Sierra, 2011).

La temperatura tiene también efectos secundarios en el agua ya que tiene influencia sobre la solubilidad del aire (oxígeno), que es la sustancia oxidante que influye más comúnmente en la corrosión cualquier equipo en la industria. A nivel industrial el índice de corrosión tiende a aumentar conforme esta se eleva. Al igual que el pH del agua también se ve afectado cuando esta aumenta, lo que implica una aceleración de la disposición de hidrógenos atómicos sobre las áreas catódicas. (Ramos, 2006). Normalmente el agua es utilizada por la población a temperaturas ambientales y a nivel industrial se requiere de temperaturas elevadas como por ejemplo para las calderas. (Sierra, 2011)

## **3.6 Análisis Químico**

### **3.6.1 pH**

El pH es el que se utiliza para expresar la intensidad de las condiciones ya sean básicas o ácidas del agua y se define como el logaritmo de base diez del inverso de la concentración del ion hidrógeno ( $H^+$ ) y se emplea para expresar el comportamiento del ión Hidrógeno. La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5.5-8.6 grados, en una escala de 14, para la cual un pH de 7 en el agua significa neutralidad. Un pH de 7 para arriba representa alcalinidad (básica) y por debajo de 7 indica acidez. La alteración excesiva fuera de estos límites puede indicar

contaminación del abastecimiento de agua por algún tipo de desecho. Generalmente son las industrias las que causan estos cambios gracias a que no tratan los desechos de manera adecuada. (Ramos, 2006)

### **3.6.2 Cloruro, cloro y cloro residual**

El cloro se utiliza muy ampliamente en aguas y drenajes, como agente oxidante y como desinfectante. Como agente oxidante se le emplea para el control de sabor olor y para la eliminación de color en el tratamiento de aguas municipales, agua de uso industrial, aguas freáticas y drenajes domésticos (Ramos, 2006).

Es fundamental mantener en las redes de distribución, pequeñas concentraciones de cloro libre residual, desde las potabilizadoras hasta los consumidores, para asegurar que el agua ha sido convenientemente desinfectada (Organización Panamericana de la Salud, 2010). No obstante, es importante señalar que la ausencia de cloro libre residual no implica la presencia de contaminación microbiológica. El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre. La suma de los dos constituye el cloro residual total. El cloro no es solo un poderoso desinfectante, sino que también satisface otras necesidades en las plantas potabilizadoras de agua. Puede reaccionar con amoníaco, hierro, manganeso, sustancias proteicas, sulfuros y algunas sustancias productoras de sabores y olores mejorando las características del agua potabilizada (Hidrogea, 2017).

El agua potable debe contener cloro y esto asegura que las personas puedan tener agua inocua y segura (Procuraduría de los Derechos Humanos, 2014). Es muy importante asegurar que exista cloro libre en todos los puntos de la red de distribución de agua, en adición a la acción bactericida del agua tratada en esta forma, el hecho de encontrar cloro en el agua demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, y por tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento. Por el contrario, la ausencia anormal del desinfectante en la red, debe hacer que los responsables apliquen de inmediato medidas de emergencia. (Organización Panamericana de la Salud, 2017)

Debe controlarse también la cantidad de cloro que se utiliza para el agua potable ya que la toxicidad de las soluciones que contienen cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito es similar, debido

a que estos compuestos están en equilibrio dinámico y las comparaciones de toxicidad pueden efectuarse en base a la medición de la concentración de cloro disponible. El grupo de individuos de alto riesgo está constituido por los asmáticos o por aquellos que presentan reacciones alérgicas después de su exposición al cloro (Clesceri, 2005).

### **3.6.3 Sulfatos**

La medición de sulfatos o del ión sulfato es de suma importancia ya que tiene la tendencia a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor en el agua para abastecimiento público (agua potable) e industrial. Este compuesto puede considerarse como indirectamente responsable de dos serios problemas relacionados con el manejo y tratamiento de aguas residuales: olor y corrosión de tuberías, resultado de la reducción de los sulfatos a sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias. También estos compuestos pueden darle cierta turbidez al agua y esto en agua potable no da la confianza necesaria para el consumo de la población. La presencia o exceso de sulfatos en agua para consumo humano, provoca efectos purgativos en las personas que la ingieren, causando vómitos, diarrea y a la vez deshidratación severa (Clesceri, 2005).

### **3.6.4 Compuestos nitrogenados**

El nitrógeno (N) puede estar en el agua en forma en nitratos o de nitritos y estos compuestos así como el fósforo, son esenciales para las plantas, por lo que es común que se encuentren en el agua. Es necesario siempre conocer la concentración de estos compuestos en las aguas para poder tratarlas antes de darles uso doméstico o industrial. El nitrógeno total está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos, (Sierra, 2011). La prueba más común para la determinación de estos compuestos es el Kjeldahl (NKT). Este método puede determinar la concentración de nitrógeno orgánico y amoniacal. (Tebbutt, 2003)

En el agua subterránea es muy común que la concentración de nitratos esté elevada y aunque son bajos los niveles de nitrato que naturalmente ocurren en el agua, algunas veces se encuentran niveles altos que son muy peligrosos para infantes; debería tener una concentración de 10 mg/L para los abastecimientos públicos. (Ramos, 2006). Los nitratos son la forma más oxidada del nitrógeno que se pueden encontrar en el agua, se forman por la descomposición de proteínas y es necesario controlarla, ya que una concentración mayor 10 mg/L puede causar una

patología llamada Metahemoglobinemia (Sierra, 2011). Es importante controlar su concentración dentro del agua, ya que cuando está afuera de los límites existe la posibilidad de reducirse a nitrito. Los nitritos pueden determinarse colorimétricamente (Tebbutt, 2004) y es también importante identificarlos y cuantificarlos porque dada su toxicidad, pueden dañar la fauna piscícola y especies acuáticas.

### 3.6.5 Dureza

Propiedad de algunas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para poder producir bastante espuma. También estas aguas tienen las características que a altas temperaturas pueden formar cristales e incrustaciones en equipos y tuberías causando daño a las mismas. Las aguas duras, fuera de las molestias con el jabón, no representan algún otro problema sanitario pero si van a ser utilizadas en industria deben ser tratadas previamente mediante un ablandamiento o suavización. (Sierra, 2011)

La dureza es ocasionada por la presencia de cualquier ión bivalente en el agua y se toman como referencia el Calcio y el Magnesio. La dureza ingresa al agua por un proceso natural de disolución de las formaciones rocosas que se encuentran en los suelos y que tienen contacto directo con el agua (Sierra, 2011).

Las aguas duras son alcalinas y se puede clasificar en dureza carbónica y no carbónica. La dureza carbónica se puede tomar como una dureza temporal que se presenta cuando el calcio y el magnesio se combinan con alcalinidad natural y la dureza no carbónica se refiere cuando la dureza es permanente; esta es ocasionada por sulfatos, cloruros, nitratos que sean de calcio y de magnesio.

**Tabla No. 8 Clasificación de aguas según dureza**

Tipo de agua	Concentración de Iones
<b>Blandas</b>	0 – 75 mg/L de Carbonato de Calcio
<b>Moderadamente duras</b>	75 – 150 mg/L Carbonato de Calcio
<b>Duras</b>	150 – 300 mg/L Carbonato de Calcio
<b>Muy duras</b>	300 o más mg/L Carbonato de Calcio

Fuente: Sierra, 2011

Las aguas con una concentración mayor a 300mg/L de  $\text{CaCO}_3$  es necesario que se traten aunque vayan a ser utilizadas para uso doméstico ya que con estas concentraciones pueden provocar cálculos dentro del organismo por endurecimiento de los iones. La dureza se mide en el laboratorio con el método de EDTA y los resultados se expresan como mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . (Tebbutt, 2003)

### **3.6.8 Hierro**

El hierro se puede encontrar disuelto en muchas aguas naturales, principalmente en aguas subterráneas, esto, debido a que las sales solubles son en general las ferrosas. Principalmente se encuentra disuelto en forma de bicarbonato ferroso  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . La presencia de acumulaciones de óxido férrico en las canalizaciones y en los depósitos puede ser motivo de crecimiento de bacterias porque este elemento es una fuente de energía para las bacterias sobre todo para las fijadoras de hierro. Provee al agua un sabor astringente, aunque este sabor no quiere decir que el agua sea impotable. Las concentraciones bajas de estos compuestos no son dañinas para la salud de los consumidores (Clesceri, 2005).

Los suministros de agua que contienen más de 0.1 mg/L de hierro son perjudiciales para casi todos los procesos industriales y para muchos de estos la concentración no debe exceder a 0.1mg/L. El hierro produce problemas en casi todo tipo de industria al exceder estas cantidades (Clesceri, 2005).

## **3.7 Métodos para tratar aguas contaminadas**

La operación que asegura protección contra el riesgo de infecciones de origen hídrico se denomina desinfección y es el tratamiento que debe aplicarse prioritariamente cuando el agua está contaminada, o cuando no se puede garantizar su potabilidad natural de forma permanente. Este proceso se utiliza en la mayoría de plantas que abastecen domicilios para uso de la población en general. La desinfección o tratamiento de aguas se puede obtener por diversos métodos físicos o químicos (Organización Panamericana de la Salud, 2017). Lo más común es realizar una filtración previa para eliminar todo tipo de sólidos que estén contaminando el agua. Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión y del medio poroso. Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o

como proceso final de pulimiento en el caso de aguas turbias. Los medios porosos utilizados además de la arena son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo del coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena (de Vargas, 2004).

La absorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo (de Vargas, 2004).

La ebullición se utiliza para obtener un agua perfectamente desinfectada a nivel del mar, ésta debe hervirse por un minuto. Debe agregarse un minuto adicional de ebullición por cada aumento de 1.000 metros de altitud (Organización Panamericana de la Salud, 2017).

Los rayos ultravioleta deben usarse sólo en casos muy particulares. Además, debe considerarse que este tratamiento no tiene efecto residual. Por otra parte, no genera ningún subproducto (Organización Panamericana de la Salud, 2017).

Los reactivos químicos más comunes son el cloro y sus derivados y el ozono junto con el dióxido de cloro. De todos ellos el cloro en forma de cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio (lejía) o de hipoclorito de calcio (en polvo) es de los más comúnmente usados (Organización Panamericana de la Salud, 2017). La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción del hierro y de dureza carbonatada mediante la adición de cal (de Vargas, 2004).

### **3.8 Calidad microbiológica del agua potable**

Verificar la calidad microbiológica del agua, incluye pues, análisis microbiológicos, en la mayoría de los casos, se analiza la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal; sin embargo también se pueden determinar concentraciones de patógenos específicos (Organización mundial de la Salud, 2006).

Dicha verificación conlleva realizar el análisis de agua desde su origen, inmediatamente después de ser tratada en los sistemas que van a distribuir este recurso a los hogares. En el agua para consumo no debe haber presencia de *E. coli*, el cual es un indicador de contaminación fecal (Organización mundial de la Salud, 2006).



Actualmente, en ciertos casos en los análisis microbiológicos se incluyen la presencia de bacteriófagos o esporas bacterianas, por ejemplo cuando se tiene conocimiento de que el agua de origen a analizar está contaminada con virus y parásitos entéricos, o por el contrario si se tiene conocimiento de que en la población en donde se distribuye dicho elemento, hay una alta incidencia de enfermedades parasitarias (Organización mundial de la Salud, 2006).

Hay que tomar en cuenta que la calidad del agua, varía rápidamente y los sistemas, ocasionalmente, pueden presentar fallos, un ejemplo de ello es la lluvia ya que puede hacer que aumente considerablemente la contaminación microbiana y por eso son frecuentes los brotes de enfermedades que son transmitidas por el agua después de estos periodos de lluviosos. Por lo tanto, es un factor que hay que tener en cuenta al momento de interpretar los resultados de los análisis (Organización mundial de la Salud, 2006).

Es necesaria la cuidadosa monitorización del agua, que servirá para ingerir, evitando la total contaminación o bien, reducir a niveles que no perjudiquen a las personas. La disminución de dichos niveles se ha logrado con el uso de múltiples barreras, las cuales son aplicadas desde que se obtiene el agua hasta llegar al consumidor. Una barrera que se puede mencionar es la protección de las áreas de recarga hídrica mejorando así la salubridad del agua (Donis, 2008).

Cabe mencionar que la selección y asimismo la aplicación de una serie de procedimientos de tratamiento para mantener la calidad del agua es una de las tareas de las instituciones públicas. Es importante resaltar, que la estrategia de preferencia es un sistema de gestión, el cual previene o reduce la presencia de patógenos a los conductos y disminuye también la dependencia en las operaciones para la eliminación de dichos patógenos. En general, el mayor riesgo microbiológico presente en el agua, son los derivados de excrementos humanos o animales (Donis, 2008).

La calidad microbiológica del agua es variable, ya que podrían producirse aumentos repentinos de la concentración de patógenos, los cuales elevarían el riesgo de desencadenar brotes de enfermedades transmitidas por este recurso. Es de importancia tener en cuenta que un considerable número de personas podrían exponerse a la enfermedad mucho antes de que se logre detectar la contaminación microbiológica. Es por eso, que para garantizar una buena salubridad del agua, constantemente se debe prestar atención especial al momento de aplicar una estrategia para la salubridad del agua o de Planes de Salubridad del Agua (PSA); los PSA se basan en llevar a cabo una evaluación de todo el sistema de agua de bebida para determinar si hay posibles peligros a los que el consumidor pudiera estar expuesto; de igual manera, se deben

determinar las medidas de control que son necesarias para disminuir o eliminar por completo dichos peligros, realizando el seguimiento de la eficacia de estas medidas (Donis, 2008).

Por último, es importante tratar de evitar los brotes de enfermedades que son transmitidas por el agua de bebida, debido a la capacidad que tiene de infectar a un gran número de personas o a toda una comunidad (Donis, 2008).

### **3.8.1 Principales microorganismos transmitidos por el agua**

La mayoría de bacterias que pueden aislarse del agua, son bacterias entéricas, es decir que son provenientes del tracto gastrointestinal ya sea de animales o de humanos, comúnmente se le denominan bacterias fecales, las cuales tienen una restringida capacidad de sobrevivir y reproducirse en el agua debido al estrés fisiológico que pueden presentar en medio acuoso.

Debido a estas características particulares, han demostrado que al estar presentes, provocan infecciones o con la presencia de materia orgánica, pH, humedad o temperatura que facilitan su sobrevivencia e incluso su reproducción. Cabe resaltar que poseen también características ventajosas sobre otros microorganismos, como por ejemplo, las metodologías al para muestrear presentes en el agua son estándar y están debidamente definidas al momento de querer obtener una respuesta rápida a diversos cambios ambientales como la contaminación (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

Dentro del listado de bacterias que se han establecido que son contaminantes del agua, resaltan las bacterias Gram negativas, especialmente las que pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter* (Ríos, Agudelo y Gutierrez, 2017).

No obstante, resalta un grupo bacteriano, el cual cumple con las características de un bioindicador potencial para la calidad del agua, que es el de las bacterias coliformes, enterobacterias o *Enterobacteriaceae*, bioquímicamente, son anaerobias facultativas, no esporulantes, productoras de gas, fermentadoras de lactosa, y generan como producto final, ácidos (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

En ciertas ocasiones, cuando estos microorganismos están presentes en el agua son asociados con contaminación fecal indicando que los tratamientos realizados al agua son deficientes; algunos géneros que se pueden mencionar aquí, son *Escherichia*, *Enterobacter*,

*Klebsiella*, *Serratia* y *Citrobacter*; éstos últimos cuatro ejemplos se han encontrado en grandes cantidades en fuentes de agua y suelos, pero no se les asocia con contaminación fecal y no representan un riesgo para la salud. Sin embargo, en cuanto a los géneros de *Klebsiella* y *Enterobacter*, pueden llegar a colonizar en el interior de las tuberías por donde corre agua o tanques en donde se almacene y podrían llegar a formar biopelículas con ayuda de nutrientes, temperaturas cálidas que favorezcan su crecimiento e incluso tiempos prolongados de almacenamiento (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

De acuerdo con el grupo de enterobacterias, se pueden mencionar a géneros como *Shigella* y *Salmonella*, las cuales pueden causar disentería bacilar. Existe otro grupo, también importante que está conformado por el género *Vibrio*, siendo su especie más característica *Vibrio cholerae*, la cual se transmite a través de agua contaminada causando diarrea aguda, que puede llegar a ser profusa; también se caracteriza por tener altas tasas de mortalidad en brotes y epidemias de cólera (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

En cuanto a las bacterias Gram positivas, no es común encontrarlas en fuentes de agua, sin embargo, cabe mencionar en este grupo a géneros como *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Enterococcus*. En ciertas ocasiones se puede observar que *E. faecalis* llega a afectar a los humanos, colonizando el intestino; por lo tanto, también se le puede considerar un indicador de contaminación fecal (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

La búsqueda de coliformes como indicadores de contaminación de origen fecal del agua es una práctica establecida desde hace muchos años; en 1895 se propuso una prueba de *Escherichia coli* como índice para comprobar la potabilidad del agua de bebida; de ésta forma se marcó el inicio del uso de los coliformes como indicadores de patógenos, ésta práctica actualmente es aplicada en muchos países (Gesche, Vallejos y Saenz, 2003).

### **3.8.1.1 Presencia de *Escherichia coli* en el agua**

La presencia de esta bacteria en el agua potable es una fuerte indicación de que existe una contaminación con aguas residuales o contaminación por residuos de animales. Esta bacteria puede entrar al agua de muchas maneras, por ejemplo, durante la lluvia, puede presentarse en ríos, arroyos, lagos o aguas subterráneas. Aunque no todas las bacterias *E. coli* son patogénicas, los estudios que se han llevado a cabo con anterioridad han demostrado que las concentraciones

de este microorganismo resultan ser indicadores de enfermedades gastrointestinales (Rock & Rivera, 2014).

El hecho de que esté presente la bacteria *E. coli* puede también, ser indicativo de la contaminación con otras bacterias, virus o protozoos que pueden causar enfermedades. Por ejemplo Salmonella, es una bacteria que comúnmente se le encuentra en agua y alimentos que están contaminados, inclusive puede causar enfermedades como fiebre tifoidea por ingerir agua contaminada (Rock & Rivera, 2014)

**Imagen No.3 Niveles de *E. coli* permitidos para los diferentes tipos de agua**

Propósito	Nivel de <i>E. coli</i>
Agua Potable	Cero
Aguas Superficiales con Contacto Corporal Completo (natación)	235 ufc/100 mL
Aguas Superficiales con Contacto Corporal Parcial (pesca, paseo en embarcaciones, etc...)	575 ufc/100 mL
Aguas Residuales (riego o descarga)	< 2.2 ufc/100 mL < 1.0 ufc/100 mL

Fuente: Arizona Department of Environmental Quality, 2010

### 3.8.1.2 Coliformes totales

Este grupo de microorganismos son adecuados como indicadores de contaminación bacteriana ya que son contaminantes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de animales con sangre caliente, están presentes en cantidades abundantes y una característica que las diferencia de las bacterias patógenas es que permanecen más tiempo en el agua, comportándose de manera similar que los patógenos en los sistemas de desinfección (Arcos, Ávila, Estupiñan y Gómez, 2005).

### 3.8.1.3 Coliformes fecales

Los coliformes termotolerantes, como actualmente se le conocen, son bacterias Gram negativas, aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa en forma de gas cuando en un medio de cultivo, la temperatura de incubación esta entre 44-45 grados Centígrados. Se le colocó este nombre de bacterias coliformes termo tolerantes debido a esta alta temperatura en la cual se obtiene un desarrollo óptimo. Dentro de este grupo se incluye a los géneros de *Escherichia* y especies de *Klebsiella* (García y Lannacone, 2014).

Otro microorganismo que se ha demostrado que se encuentra en excretas humanas es *Pseudomonas aeruginosa*. Esta especie se puede encontrar en los ambientes acuosos, como por ejemplo cañerías, tanques de almacenamiento, duchas, entre otros; estos ambientes se consideran nichos favorables para que pueda desarrollarse. También se considera que distintos materiales que son utilizados para la construcción de sistemas de distribución de agua y tuberías pueden favorecer el desarrollo de biopelículas por esta especie (Martín, 2004).

De igual manera, el agua potable también es un ambiente que la especie *Pseudomonas* considera excelente para su crecimiento, incluso se ha encontrado en agua clorada, embotellada o extraída de perforaciones subterráneas. También se ha encontrado que luego del proceso de embotellamiento del agua, esta bacteria, puede seguir multiplicándose y podría alcanzar altos niveles de concentración (Martín, 2004).

Se considera que el agua subterránea es uno de los hábitats donde *Pseudomonas* puede desarrollarse, por lo tanto si esta especie se encuentra presente en los acuíferos quiere decir que es estimulada por la contaminación que proviene de los pozos ciegos, debido a dos factores: a la posible presencia de esta bacteria en las heces humanas y la presencia y aporte de los nutrientes para su desarrollo (Martín, 2004).

Se puede considerar también que el aumento de los compuestos orgánicos y de nitratos en los acuíferos, estimula el desarrollo de esta especie en el agua subterránea contaminada. Cabe mencionar que *Pseudomonas* es una bacteria que está presente en el suelo, debido a esto puede llegar a filtrarse hacia acuíferos, favorecida por la contaminación orgánica en el agua que proporciona los nutrientes necesarios para su desarrollo (Martín, 2004).

De acuerdo a diversas investigaciones, se ha descubierto que *P. aeruginosa* tiene la capacidad de sobrevivir y multiplicarse en aguas tratadas; esto se debe a que una capa densa de

polisacáridos, establece una barrera física y química capaz de proteger a la bacteria de moléculas e iones de cloro libre residual (García y Iannacone, 2014).

### **3.8.2 Enfermedades transmitidas por agua contaminada**

En la actualidad el desarrollo de tecnologías moleculares que han sido aplicadas a estudios ambientales ha permitido comprobar que inclusive en países altamente industrializados existe una alta prevalencia de virus en el medio ambiente, esto causa un importante impacto en la salud pública e importantes pérdidas desde el punto de vista económico, principalmente a través de la transmisión de virus por agua y alimentos. Concentraciones significativas de virus son detectadas en las aguas vertidas al ambiente y en los biosólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual (Bofill, Clemente, Albiñana, Maluquer, Hundesa & Girones, 2005).

A nivel mundial, los microorganismos que se transmiten a través del agua, son los culpables de la diarrea infecciosa. Dentro de los que ocasionan la diarrea están las bacterias, protozoarios, virus y parásitos. Entre las enfermedades que pueden ocasionar se encuentra el cólera, la giardiasis y hepatitis A (Schimelpfenig, 2016).

Las aguas residuales resultan ser la principal fuente de microorganismos patógenos que se pueden transmitir a través del ambiente y que lamentablemente llegan a la población especialmente a través de la contaminación del agua utilizada para beber, agua utilizada en cultivos de vegetales o en cultivos de moluscos bivalvos, al momento de preparación de comida, para lavar, uso en el baño o desde el punto de vista recreativo (Bofill, Clemente, Albiñana, Maluquer, Hundesa & Girones, 2005).

Actualmente, se aplican tratamientos a las aguas residuales por métodos biológicos y fisicoquímicos y han disminuido significativamente la incidencia de enfermedades entre la población, especialmente las de etiología bacteriana; sin embargo, los protozoos y los virus son microorganismos más resistentes que las bacterias a muchos de estos tratamientos (Bofill, Clemente, Albiñana, Maluquer, Hundesa & Girones, 2005).

Se han detectado concentraciones de virus verdaderamente significativas en las aguas difundidas al ambiente y en los biosólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual y, a pesar de que se considera que hay una disminución importante en la concentración de virus; se ha observado, que “a partir de los 100.000 enterovirus por litro frecuentemente detectados en el agua residual, que en una población de 300.000 habitantes pueden liberarse al medio ambiente

cantidades de 109 partículas víricas en 24 horas en aguas residuales tratadas” (Bofill, Clemente, Albiñana, Maluquer, Hundesa & Girones, 2005).

Los agentes patógenos que se transmiten a través del agua, generalmente se diseminan debido a que el agua se encuentra contaminada con aguas que no se han tratado o que han sido sometidas a tratamientos insuficientes. Entre las enfermedades que son transmitidas por ésta vía, se incluyen al cólera, shigelosis y leptospirosis (Tortora, Funke & Case, 2007).

### **3.8.3 Muestreo, transporte y conservación de muestras de agua**

Se debe aclarar desde un principio cual será el objetivo de un muestreo de agua; ya sea para realizar análisis fisicoquímicos y/o microbiológicos para consumo humano u otro objetivo, debido a que esto define los elementos que se requieren y las condiciones en que se realizará; tomando en cuenta envase, procedimiento, condiciones de traslado, conservación y otros cuidados que se le deben dar a la muestra (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., 2011).

Por lo tanto, el muestreo "es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua" por lo que la persona encargada de recoger la muestra y transportarla al laboratorio, es la responsable de la obtención de buenos resultados. Entonces se debe asegurar que la muestra entregada sea representativa de la fuente cuya calidad se quiere evaluar. Es por eso que se aconseja que la toma de muestra se debe realizar con el debido cuidado para lograr garantizar un buen análisis (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., 2011).

El material indispensable para el muestreo es:

- Envases para el muestreo, los cuales deben estar bien identificados
- Según el objetivo del análisis o las condiciones del muestreo se necesita:
  - Conservadora con hielo
  - Gotero o elementos necesarios para incorporar soluciones si la muestra lo necesita
- Es recomendable utilizar
  - Medidor de pH
  - Termómetro
  - Conductivímetro

(Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011)

Es importante mencionar que, el equipo que se utilice, va a depender del análisis que se le realice a la muestra.

#### **3.8.4 Análisis microbiológico**

Para este tipo de análisis se utilizan frascos con una capacidad de 250-300 mL de plástico o vidrio, es importante que estén completamente estériles y posean tapa hermética. Se debe tomar en cuenta al seleccionar los envases, que este tipo de muestras se debe, obligatoriamente, mantener refrigerada hasta llegar al laboratorio y procesarla (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., 2011).

#### **3.8.5 Acondicionado y transporte de la muestra**

Para análisis fisicoquímicos, es necesario que estas muestras sean conservadas en frío, debido a que ciertas especies químicas pueden sufrir transformaciones por acción microbiana, se debe mantener exentas de luz y procurar enviarlas rápido al laboratorio de análisis. En caso de no refrigerar rápidamente, puede haber una variación de pH (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., 2011).

Para análisis microbiológicos, es de suma importancia que la muestra se mantenga en condiciones de refrigeración, ya que por ejemplo, si hay temperaturas mayores a 6 grados Centígrados, provocan una multiplicación de los microorganismos, por lo tanto se pueden alterar los resultados, ya que no están reflejando lo que realmente se quiere conseguir. En conclusión, son tres factores que pueden afectar a los organismos vivos de una muestra para este tipo de análisis: las temperaturas arriba de 6 grados Centígrados, la luz y las temperaturas de congelamiento (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca., 2011).

Es importante tener en cuenta que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se deben trabajar por separado, incluso el tipo de recipiente, como su conservación y en el tiempo de envío al laboratorio de análisis.



### 3.8.6 Métodos de análisis microbiológicos

Estos métodos surgen de la necesidad de la obtención de respuestas más rápidas y exactas sobre la presencia de algún microorganismo en la muestra que se someterá al análisis. Los primeros métodos reportados corresponden a métodos químicos, posteriormente, conforme la ciencia fue avanzando al igual que la tecnología, surgieron otros métodos para objetivos diferentes, entre ellos los microbiológicos, los cuales actualmente se utilizan en el control de calidad de las aguas y alimentos para la detección de microorganismos (Ortega, Rodríguez & Zhurbenko, 2010).

Para un análisis microbiológico, se pueden solicitar coliformes totales, *Escherichia coli* o termo resistentes, estreptococos fecales y *Salmonella* (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011).

El crecimiento de poblaciones microbianas se puede medir de maneras diferentes. Ciertas metodologías determinan el número de células y otras determinan la masa total de toda una población que generalmente es directamente proporcional al número de células. La magnitud de la población normalmente se registra como el número de células que están presentes en un mililitro de líquido (Tortora, Funke & Case, 2007).

#### 3.9.8.1 Recuentos en placa

Este método es utilizado con mucha frecuencia para medir las poblaciones bacterianas. Una de las ventajas que presenta es que mide el número de células viables. Por el contrario, presenta una desventaja, ya que se requiere bastante tiempo, casi 24 horas o más para que las colonias que lleguen a formarse puedan ser visibles (Tortora, Funke & Case, 2007).

El recuento en placa se basa "en la suposición de que cada bacteria crece y se divide para producir una sola colonia". Esto puede ser un poco contradictorio ya que con mucha frecuencia, las bacterias crecen unidas, en cadenas o como grumos. Debido a esto, una colonia no se puede reproducir como resultado de una sola bacteria, sino de segmentos cortos de una cadena o de un agregado bacteriano. Para manifestar esta situación los recuentos en placa se suelen informar como unidades formadoras de colonia (UFC) (Tortora, Funke & Case, 2007).

### 3.8.6.2 Método del Número más probable (NMP)

Este método utiliza tubos múltiples y determina el número de bacterias coliformes presentes en una muestra. Se realiza mediante la siembra de una serie de porciones de un volumen determinado de muestra en tubos que tienen un medio favorable de cultivo. Este método se basa en leyes de probabilidades y se utiliza para estimar el número de bacterias en una muestra que se expresará como número más probable (NMP) (Roldán y Ramírez, 2008).

Esta determinación de NMP de coliformes en cierta muestra se realiza utilizando la técnica de tubos múltiples. El principio de dicha técnica es que "las bacterias presentes en una muestra pueden separarse unas de otras por medio de agitación; resultado de ello, es una suspensión de bacterias individuales, uniformemente distribuidas en ella" (Roldán y Ramírez, 2008).

Tomando en cuenta lo anterior, éste método puede definirse como la inoculación de volúmenes decrecientes de la muestra en un medio de cultivo, el cual tiene que ser adecuado para que pueda darse el crecimiento de la bacteria a investigar; cada volumen es inoculado en una serie de tubos. Ya teniendo las soluciones sucesivas, se obtendrán inóculos, entonces esta siembra dará lugar a resultados negativos, al menos en un tubo de la serie que se inoculó con anterioridad. De acuerdo con la combinación de resultados negativos y positivos, se podrá estimar la densidad original de bacterias (NMP), tomando en cuenta la aplicación de cálculos de probabilidades (Roldán y Ramírez, 2008).

La determinación de coliformes se basa en dos diferentes pruebas: una presuntiva y otra confirmativa. Esto debe realizarse obligatoriamente para toda muestra de agua. La prueba presuntiva, se basa en la inoculación de una cantidad específica de la muestra de agua en una serie de 9 a 12 tubos, los cuales contienen caldo-lactosa, esto para determinar si las bacterias que son fermentadoras de lactosa producen gas. Pasada la incubación se debe observar que haya habido fermentación y gas en cualquiera de los tubos inoculados con anterioridad; en caso de ser así se presume que hay presentes coliformes en la muestra de agua. Esta prueba también es utilizada para determinar el número más probable (NMP) de coliformes presentes en cada 100 mL de agua (Olivas y Alarcón, 2004).

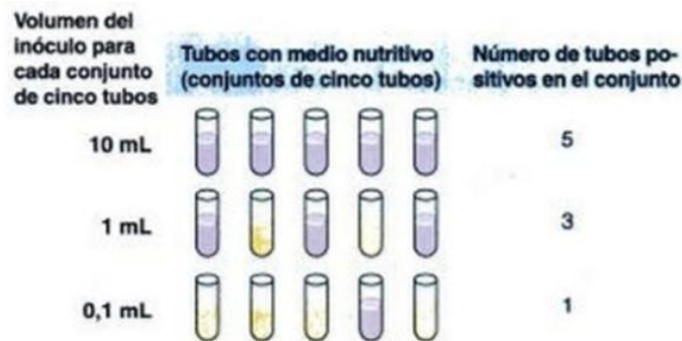
Con respecto a la prueba confirmatoria, se debe continuar analizando los tubos positivos que se obtuvieron en la prueba presuntiva, es decir, los tubos en donde hubo fermentación de lactosa y producción de gas, ya que estos serán transferidos a placas de agar Levine ò EMB para

confirmar si poseen bacilos Gram negativo, ya que esta también es otra característica del grupo de coliformes (Olivas y Alarcón, 2004).

Dicho medio de cultivo, es un medio diferencial utilizado para la identificación y el aislamiento de bacilos Gram negativo, la característica particular de este agar es que inhibe el crecimiento de organismos Gram positivo y ayuda a diferenciar las colonias de los coliformes de aquellas que verdaderamente no lo son. En este agar, los coliformes producen colonias de tamaño pequeño y el centro tienen color oscuro (Corry, Curtis & Baird, 2011).

Existe una tercera prueba, denominada prueba complementaria, para determinar si verdaderamente las colonias que se aislaron anteriormente en las placas de agar EMB se encuentran dentro del grupo de coliformes. Para esta, se utilizan medios que incluyen un tubo de agar nutritivo y un tubo de Durham con caldo de lactosa. Por lo tanto, si hay producción de gas en el tubo de Durham y se observa una tinción de las colonias que se utilizaron del agar nutritivo, evidentemente se trata de un bacilo Gram negativo no formador de esporas. Por consiguiente se tiene la seguridad de que la muestra de agua si contenía coliformes (Olivas y Alarcón, 2004).

**Imagen No. 4 Ejemplo de series de diluciones para el número más probable (NMP)**



Fuente: Tortora, 2007

**Serie de diluciones para el número más probable (NMP).** En este ejemplo hay 3 conjuntos de tubos y 5 tubos en cada uno. Cada tubo del primer conjunto de 5 tubos recibe 10mL de inóculo, como una muestra de agua; así sucesivamente 1mL y 0.1mL en los otros dos conjuntos; la tercera columna muestra los números de tubos que resultaron positivos.

Imagen No.5 Ejemplo de Tabla de Número más probable

Combinación de positivos	Índice de NMP/100 mL	Límites de confianza del 95%	
		Inferior	Superior
4-2-0	22	9	56
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360

Fuente: Tortora, 2007

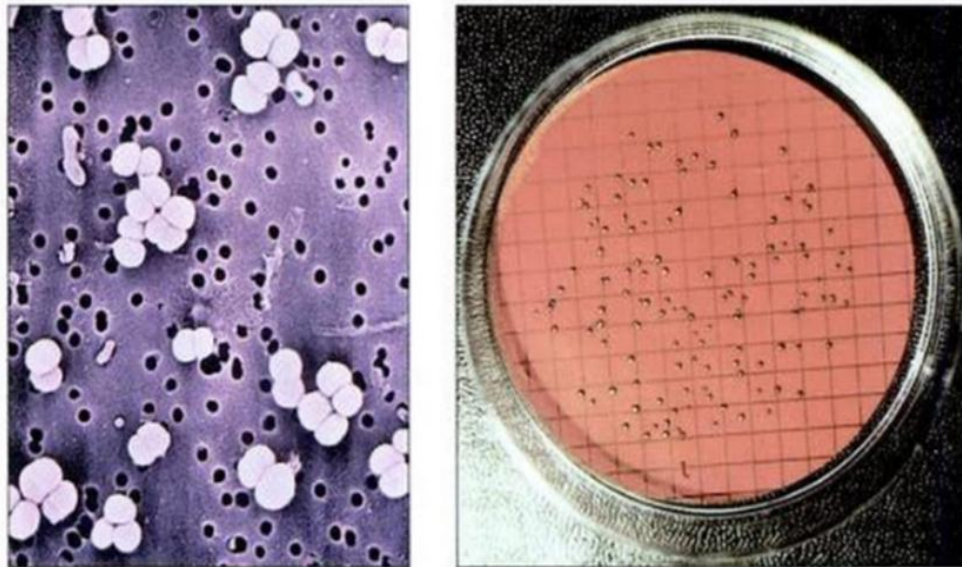
*Las tablas del NMP permiten calcular en una muestra el número de microorganismos que por cálculos estadísticos es probable que conduzca a ese resultado. Se registra en cada conjunto el número de tubos positivos. Si se busca en los resultados en una tabla de NMP se comprueba que el NMP por 100mL es de 110. Desde el punto de vista estadístico esta significa que el 95% de las muestras de agua dan este resultado que contiene 40-300 bacterias.*

### 3.8.6.3 Método de filtración por membrana

Para poder detectar coliformes totales y coliformes fecales también puede utilizarse el método de filtración por membrana, el cual es un método altamente reproducible, en donde se pueden analizar volúmenes grandes de muestra, obteniéndose resultados en menos tiempo si se compara con la técnica del número más probable. Una de sus desventajas es que no puede utilizarse cualquier tipo de muestra (Paez, 2008).

Este método se basa en pasar un volumen conocido de una muestra de agua, previamente diluido en agua destilada, mediante un filtro que es estéril de 0.45  $\mu\text{m}$  en donde se aplica vacío, el objetivo de esto es retener células bacterianas de manera que queden distribuidas homogéneamente en el filtro utilizado. Posteriormente se retira el filtro del equipo de filtración y se coloca sobre un medio de cultivo (López, 2015).

### Imagen No.7 Ejemplo de Recuento de Bacterias por Método de Filtración



Fuente: Tortora, 2007

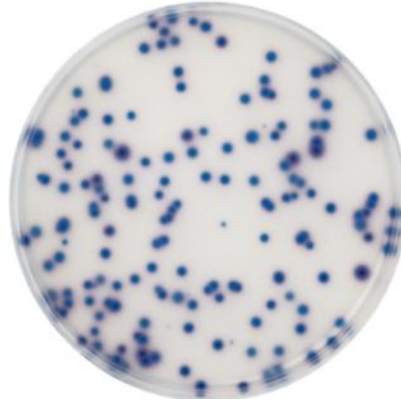
- a) *Las bacterias contenidas en 100mL de agua se vierten sobre una superficie de una membrana filtrante.*
- b) *El filtro, como se muestra en la imagen, con las bacterias mucho más espaciados, se coloca sobre una almohadilla impregnada con medio líquido, que es selectivo para bacterias gramnegativas. Las bacterias individuales crecen en colonias visibles. Se observan 124 colonias, de modo que se registran 124 bacterias por 100mL de muestra de agua*

Para el análisis de agua, realizado con este método, se requiere la utilización de un medio de cultivo, denominado agar Chromocult, basándose en que es un medio cromógeno diferencial para el análisis microbiológico de muestras de agua. Transcurridas 24 horas este medio, detecta y permite la diferenciación y la enumeración de bacterias como *E. coli* y bacterias coliformes en agua potable (Merck Millipore, 2014).

El recuento de coliformes se basa “en la capacidad de que la enzima  $\beta$ -D-galactosidasa, que es característica de las bacterias coliformes, para escindir el sustrato Salmon-Gal, esta reacción produce colonias de coliformes de color rojo-salmón” (Merck Millipore, 2014).

En cuanto al recuento de *E. coli* “se basa en la ruptura de los sustratos X-glucurónido por la  $\beta$ -D-glucuronidasa y Salmon-GAL por la  $\beta$ -D-galactosidasa, una composición enzimática característica de *E. coli*. Cuando hay *E. coli* presente se dividen los dos sustratos, lo que da lugar a colonias que adquieren un color entre azul oscuro y violeta” (Merck Millipore, 2014).

### Imagen No.8 Escherichia coli en Agar Chromocult



Fuente: Merck Millipore, 2014

### 3.9 Publicaciones previas

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa a países de todo el mundo. Los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica son factores de riesgo. En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de calidad aceptable, para uso personal y doméstico (OMS, 2017).

En 2012 hizo una evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula. En los resultados de análisis bacteriológico el 87% de las muestras analizadas tuvo la presencia de coliformes totales, un 77% para coliformes fecales y un 50% con la presencia de *Escherichia coli*;, cantidades por arriba de los límites máximos permisibles que la norma exige; el 100% de las muestras cumplió con los requerimientos fisicoquímicos que la norma exige. Con los resultados obtenidos se pudo concluir que la mayor parte de agua de pozos del departamento de Chiquimula se encuentra contaminada, lo cual la hace no apta para consumo humano ya que no cumple con los parámetros microbiológicos permitidos por la norma COGUANOR NGO 29001 (Hernández, 2012).

En 2011 se realizó la determinación de la calidad del agua para consumo humano que suministra la Municipalidad de san Agustín Acasaguastlán, Departamento de El Progreso. En los resultados de los análisis microbiológicos el 100% de las muestras analizadas demostraron la presencia de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* en cantidades por arriba de los límites permisibles que la norma exige, por lo que se concluyó que el agua suministrada por la municipalidad, no es apta para consumo humano, ya que no cumple con los parámetros microbiológicos permitidos por la norma COGUANOR NGO 29001; el 100% de las muestras cumplieron con todos los parámetros fisicoquímicos, pero como se mencionó, no cumplió debido a parámetros microbiológicos (Ayme, 2011).

En 2006 también se realizó el análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, Departamento de Escuintla. Debido a contaminación fecal se pudo determinar que el agua no cumple con las especificaciones de la Norma COGUANOR NGT 29001, por lo que dicha agua no es apta para consumo humano, tampoco cumplen con los parámetros fisicoquímicos, con respecto a la concentración de cloro lo que a su vez, hace que la contaminación microbiológica también este presente. (Ramos, 2006)

En 2006 se hizo un análisis bacteriológico del agua de pozo que se distribuye en el municipio de Guazacapán en Santa Rosa, en la cual se determinó que el agua no cumple con la norma COGUANOR NTG 29001 ya que las muestras superaron los niveles máximos de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* y tampoco se cuenta con una concentración adecuada de cloruros, haciendo que la contaminación microbiológica aumente (Roldan, 2006).

En 2004 se realizó un estudio de la calidad del agua para consumo humano obtenida de los pozos mecánicos de la zona 11 del Municipio de Mixco; esto debido a que el área a la que se distribuye dicho servicio es muy grande y se necesitaba la seguridad de la salud de las personas que consumían la misma. Todos los parámetros evaluados tanto fisicoquímicos como microbiológicos, se encontraron dentro de los límites aceptados en la norma COGUANOR NTG 29001 para agua potable, por lo que se concluyó que el agua de estos pozos es adecuada para consumo humano (Marel, 2004).

#### 4. Justificación

El agua es un compuesto de uso universal muy importante para la vida. En Guatemala hay una problemática actual en cuanto a la calidad del agua, ya que muchos factores han hecho que el agua cada vez esté más contaminada y se limite el uso doméstico. El agua puede contener contaminantes químicos y microbiológicos que pueden alterar la salud de las personas y causar diversas enfermedades infecciosas.

Debido a todos los factores como la industrialización, tala de árboles, urbanización y otros, todos los cuerpos de agua a nivel nacional se han visto afectados, por lo que es el objetivo del presente estudio, analizar la calidad y potabilidad del agua en Colonia los Ángeles, zona 2 de Boca del Monte, Municipio de Villa Canales y verificar que se cumplan con los requerimientos microbiológicos y fisicoquímicos de la norma COGUANOR NTG 29001 de agua potable. Esta colonia en los últimos 15 años ha crecido y ha incrementado la tala inmoderada de árboles; sumado a esto en los alrededores se han construido dos colonias residenciales. Dicha colonia también tiene un cauce de agua llovediza que atraviesa por todo su ancho, proveniente del municipio de Santa Catarina Pinula; este cauce ha tenido el problema de que muchas viviendas han adaptado tuberías con aguas negras y toda esta agua contaminada pasa a nivel subterráneo de la colonia; este cauce pasa por una construcción tipo túnel que se realizó en el año 1998 y es posible que esté dañado y pueda filtrarse el agua a las capas de la tierra. Por esta razón se requiere realizar el estudio para asegurar la calidad y potabilidad del agua.

De este servicio depende un aproximado de 45 familias y nunca se ha realizado ningún tipo de análisis microbiológico ni fisicoquímico, por lo que la evaluación de estas características permitirá realizar acciones correctivas que ayuden a mejorar la calidad del agua de consumo humano, en caso de que no se cumpla con la Norma COGUANOR NTG 29001.

Un aseguramiento de la calidad del agua le dará a la población la seguridad necesaria para su uso, sin problema alguno de enfermedades infecciosas.



## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo General

Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del pozo que distribuye el agua a la Colonia los Ángeles, Aldea Boca del Monte, Municipio Villa canales, Departamento de Guatemala, para determinar si cumple con los requerimientos establecidos por la norma COGUANOR NGT 29001 de agua potable en Guatemala.

### 5.2 Objetivos específicos

- 5.2.1. Determinar si se cumplen los parámetros fisicoquímicos de color, pH, turbidez, dureza, cloruros, sulfatos, cobre, hierro, magnesio, zinc, nitratos y nitritos en todas las muestras según la norma COGUANOR NGT 29001 de agua potable en Guatemala.
- 5.2.2 Identificar y cuantificar la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* en el pozo que distribuye agua a la Colonia los Ángeles en Boca del Monte, para evaluar la calidad microbiológica.
- 5.2.3 Verificar si la desinfección del agua, se ha realizado de manera correcta y frecuente, con la finalidad de destruir los organismos patógenos contenidos en la misma, para garantizar la calidad según la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable.
- 5.2.4 Informar y recomendar a la administración encargada por medio de un informe final, las posibles medidas a implementar para mejorar el control de la calidad del agua que se distribuye a la población.

## **6. Hipótesis**

El agua de la Colonia los Ángeles, ubicada en la zona 2 de la aldea Boca del Monte, Municipio de Villa Canales, Departamento de Guatemala, cumple con los requerimientos físicos, químicos y bacteriológicos establecidos por la norma Guatemalteca de agua potable COGUANOR NGT 29001 para ser utilizada por la población humana.

## 7. Materiales y métodos

### 7.1 Universo de trabajo

Agua proveniente del servicio de agua potable de Colonia los Ángeles, zona 2 de Boca del Monte, Municipio de Villa Canales, Departamento de Guatemala (Anexo 1).

### 7.2 Muestra

Las muestras fueron tomadas del pozo de extracción, tanque de recolección y distribución de viviendas en la colonia de Boca del Monte (Anexo 2 y Anexo 4).

### 7.3 Materiales y equipo

#### 7.3.1 Equipo

- Incubadoras
- Baños María
- Refrigerador
- Autoclave Agitadores
- Termorreactor
- Espectrofotómetro Hach DRW 50
- Espectrofotómetro Spectroquant Nova 60
- Potenciómetro Inolab level I
- Conductímetro Inolab level II
- Vòrtex

#### 7.3.2 Materiales

- Frascos estériles con tapa de 250 mL
- Frascos plásticos con tapa de 1000mL
- Hieleras para el transporte de muestras
- Pipetas estériles
- Mecheros de gas
- Tubos de prueba con tapa de rosca, adaptables a gradilla y al equipo de baño María.
- Tubos de Durham
- Asas bacteriológicas
- Gradillas para incubación de tubos
- Cajas de Petri
- Pipetas volumétricas de 1-10 mL
- Porta pipetas
- Bureta 1-25 mL
- Pisetas
- Tubos de ensayo
- Cubetas de ensayo de cuarzo
- Papel Wathman cualitativo
- Soporte universal

### 7.3.3 Medios de Cultivo

- Caldo Lauril Sulfato Simple
- Caldo Lauril Sulfato Doble
- Caldo Bilis Verde Brillante 2%
- Caldo Escherichia coli (EC)
- Agar Eosin Methylene Blue (EMB)

### 7.3.4 Reactivos

- Ácido etilendiaminotetracético (EDTA)
- Agua desmineralizada estéril
- Negro de Ericromo
- Reactivo de Zincon
- Triazina
- Ácido Acético 96%
- Cloruro de Bario
- Ácido Sulfúrico 95%
- Brucina
- Etanol 70%

## 7.4 Métodos

### 7.4.1 Toma de Muestras

Las muestras se recolectaron del pozo, tanque y viviendas de la Colonia los Ángeles en Boca del Monte, Villa Canales. Se recolectaron 22 muestras y este proceso se realizó por duplicado, realizando una recolección de muestras en época seca y otra en época lluviosa. Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) en el año 2017, la época seca abarca los meses de marzo hasta mayo y la época lluviosa de junio a julio y de agosto a octubre por interrupción de la canícula que es una época donde disminuyen las lluvias (INSIVUMEH, 2017).

#### 7.4.1.1 Técnica de muestreo para análisis fisicoquímico

- Se utilizaron recipientes plásticos con capacidad de 500ml
- Se enjuagaron 3 veces con el agua del lugar de la muestra (Pozo, tanque o chorro)
- Se llenó el recipiente en su totalidad

- Se identificó cada uno con los datos siguientes: lugar, fecha, hora, persona que recolectó y el tipo de análisis para el cual estaba destinada la muestra.
- Se transportó y se almacenó en refrigeración cada muestra hasta su respectivo análisis.

#### **7.4.1.2 Técnica de muestreo para análisis microbiológico**

- Se utilizaron recipientes de vidrio con tapón de rosca de plástico, estos con una capacidad de 250mL. Cada frasco de vidrio estará previamente esterilizado por calor húmedo.
- En el área de muestreo se limpió la salida de agua (chorro) con Etanol al 70%, por dentro y por fuera, esto con ayuda de algodón, hasta que no se vió ningún tipo de suciedad.
- Se abrió la llave de cada grifo y se dejó correr el agua por 1 minuto exactamente.
- Se tomó la muestra de agua directamente del grifo y se tapó el recipiente inmediatamente.
- Se identificó cada uno con los datos siguientes: lugar, fecha, hora, persona que recolectó y el tipo de análisis para el cual estaba destinada la muestra.
- Los frascos se transportaron en hieleras con baterías de enfriamiento congeladas, para mantener una temperatura ideal en las muestras y así evitar algún tipo de crecimiento bacteriano. Al terminar de muestrear se llevaron inmediatamente al laboratorio para su respectivo análisis.

#### **7.4.2 Número de muestras**

Se recolectaron 44 muestras en total distribuyéndolas de la siguiente manera: 1 muestra de pozo, 1 muestra del tanque de distribución y 20 muestras en las viviendas de la colonia según el método 4x5 (5 manzanas tomando muestras en 4 viviendas de cada una). Realizando el proceso por duplicado, uno en época seca y otro en época lluviosa.

### **7.4.3 Coliformes totales, fecales y *E. coli***

#### **7.4.3.1 Prueba presuntiva**

Se agitó la muestra y se transfirieron volúmenes de 10 mL de muestra a 10 mL de caldo Lauril Sulfato Doble, 1 mL a 9 mL de caldo Lauril Sulfato Simple y 0.1 mL a 9 mL de caldo Lauril Sulfato Simple, respectivamente. Se agitaron los tubos para homogenizar la muestra. Se Incubaron los tubos a 35°C, se examinaron los tubos a las 24 horas y se observó si había formación de gas (desplazamiento del medio en la campana de Durham); si no se observa producción de gas, incubar 24 horas.

#### **7.4.3.2 Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales**

- Se transfirió 1 asada de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva a otro tubo que contenga caldo de bilis verde brillante, con campana de Durham.
- Se agitaron los tubos para su homogeneización.
- Incubación a 35°C durante 24 a 48 horas.
- Se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observó turbidez (crecimiento) y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 horas.
- Se identificó el NMP y se verificó si cumple o no con la norma COGUANOR NGT 29001.

#### **7.4.3.3 Prueba confirmativa de microorganismos coliformes fecales**

- Se transfirió de 2 a 3 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva (caldo lauril sulfato de sodio) a un tubo con caldo *E. Coli* conteniendo campana de Durham.
- Se agitaron los tubos para su homogeneización.
- Incubar a  $44.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$  en baño de agua durante 24 a 48 horas.
- Se registraron como positivos todos los tubos en donde se observó crecimiento y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 h.
- Se identificó el NMP y se verificó si cumple o no con la norma COGUANOR NGT 29001.

#### **7.4.3.4 Prueba complementaria**

Se tomó una asada de cada uno de los tubos positivos en caldo EC y se sembró en agar Eosina azul de metileno para su aislamiento. Se incubaron las placas invertidas a 35°C por 18-24 h. Presencia de colonias brillantes color verde metálico: presencia de *Escherichia coli*.

#### **7.4.4 pH**

El pH se examinó con un potenciómetro previamente calibrado esperando valores cercanos a 7 que indiquen la neutralidad del agua. Este método mide el potencial generado por un electrodo de vidrio que es sensible a la actividad del ión de Hidrógeno y lo compara con un potencial de referencia. Que genera un potencial constante independiente del pH (Método 4500-H+) (Standard Methods for de examination of water and wastewater, 2017).

#### **7.4.5 Color**

La coloración es una característica cualitativa de acuerdo al sentido de la vista, la cual, nos permite determinar contaminación en agua potable. Cada muestra se comparó con la escala Platino Cobalto la cual es equivalente al método 2120 (Método Espectrofotométrico) de Standard Methods. (Standard Methods for de examination of water and wastewater, 2017).

#### **7.4.6 Olor**

Los procedimientos analíticos no son satisfactorios para su medición y tiene que confiarse en el sentido del olfato, es tomado como un examen organoléptico. Por lo que el método utilizado en la investigación fue el olfato. Su significado sanitario es que las características de la aceptación por el consumidor de un abastecimiento son indispensables porque el agua se debe entregar al usuario desprovista de olores rechazables. (Molina, M.A., 2009).

#### **7.4.7 Turbidez**

De la turbidez se determinó su aspecto cualitativo (Método 2130), de acuerdo a una aparición general del sentido de la vista, siendo estos: clara, ligeramente turbia y turbia. La turbidez se expresa en unidades de turbidez (UT), determinándose en un aparato Nefelométrico, por lo que los resultados se expresan en UTN (Unidades de turbidez Nefelométricas). (Standard Methods for de examination of water and wastewater, 2017)

- Límite máximo aceptable: 5 unidades U.T.N (Unidades nefelométricas de turbidez)
- Límite mínimo permisible: 25 unidades U.T.N (Unidades nefelométricas de turbidez)

#### **7.4.8 Sólidos Totales Disueltos (STD)**

Se utilizó el Método 2540B. Se utilizaron cápsulas de porcelana previamente secas, para esto se utilizó un horno precalentado a 105°C durante 2 horas, posteriormente se dejó enfriar en un desecador por 2 horas. Se registró el peso de dicha cápsula. Se midió un volumen de 100 mL de agua volumétricamente, se transfirió a la cápsula de porcelana. Posteriormente se introdujo la cápsula en un baño de maría precalentado a temperatura de ebullición del agua y se retiró cuando se secó totalmente. Se introdujo la cápsula en un horno a 103 – 105°C durante 2 horas. Se llevó la cápsula a un desecador y se dejó enfriar aproximadamente 2 horas hasta temperatura ambiente. A continuación, se registró el peso de la cápsula y se realizaron los cálculos correspondientes (APHA, 2011).

#### **7.4.9 Conductividad eléctrica y salinidad**

La conductividad eléctrica del agua es la habilidad o poder de conducir o transmitir electricidad. Las unidades son Siemens por metro pero los conductímetros que son utilizados normalmente en laboratorio para el análisis de agua suelen proporcionar la conductividad en uS/cm. Los conductímetros miden la resistencia eléctrica que ejerce el volumen de una disolución encerrado entre los dos electrodos y sirven para la medición del valor pH, la conductividad, la salinidad y también la temperatura. Al conectar los conductímetros se realiza una auto-verificación para garantizar la precisión de medición necesaria.

Para medir la cantidad de sales disueltas en el agua (Salinidad), se hace indirectamente a través de la conductividad eléctrica generada por la cantidad de sólidos disueltos presentes. Perú, 2011)

#### **7.4.10 Dureza**

Toma en cuenta la concentración de iones de magnesio y de calcio; se expresa como mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Se agregaron a 25mL de la muestra 2mL de solución de NaOH o un volumen suficiente para obtener un pH de 12 a 13. Se mezcló y se agregaron unas gotas de negro de ericromo-T como



indicador y se tituló con EDTA 0,01M, utilizando blanco en todas las determinaciones (Standard Methods for de examination of water and wastewater, 2017).

#### **7.4.11 Zinc**

El Zinc se analizó por el método colorimétrico Zincon el cual, su principio se basa en la formación de un complejo azul que se produce al reaccionar el zinc con el Zincon en una solución básica de pH entre 8,5 y 9,5, después del enmascaramiento del ión con NaCN y estabilización del complejo con ciclohexanona antes y después de 1 minuto de reacción, determinándose la absorbancia a 620nm y relacionándose a una curva patrón (Método, 3500 colorimétrico) (Coronado, 2014).

#### **7.4.12 Nitratos**

Para determinar las concentraciones de nitratos en las muestras de agua, se utilizó la técnica descrita en Official Methods Análisis (AOAC) 1990 modificada. Se tomaron 5 mL de la muestra de agua y se le agregó 0.5 mL de solución de brucina (5g de brucina se disuelven en 100mL de ácido acético al 96%). Se agregaron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (95%) se agitó y se enfrió a temperatura ambiente. Después de 10 minutos se hizo la lectura fotométrica de la solución. Para la solución de referencia se tomaron 5 mL de agua destilada, con 10 mL de ácido sulfúrico concentrado más 0.5mL de brucina. Se leyó en el espectrofotómetro a una longitud 420nm. La soluciones de calibración se prepararon así: pesando analíticamente 0.1635g de nitrato de potasio se lleva a 1000mL en un balón aforado con agua destilada, siendo el equivalente a 1 mL de solución a 0.1 mg de nitrato. Se realizaron diluciones de 0, 1, 2, 3, 4 y 5ppm. (Azharia, 1980)

#### **7.4.13 Nitritos**

La cuantificación de nitritos se basa en la reacción de Griess; este método está basado en la reacción del agua en medio ácido para formar una sal diazonio que acoplada a aminas aromáticas produce un colorante azo (diazotización de Griess). Esta reacción de color es monitoreada fácilmente por medio de espectrofotometría. Se puso a trabajar el equipo según procedimientos estandarizados, se realizó la curva correspondiente y se analizó cada muestra (Método 4500 NO<sub>3</sub>-C). (Standard Methods for de examination of water and wastewater, 2017).

#### 7.4.14 Hierro

La cuantificación de hierro se realizó por el Método 3500 Fe-B el cual es un proceso por espectrofotometría. En este procedimiento se utilizó el reactivo Triazina como reactivo cromóforo para formar a pH = 5,0 un complejo azul. La amplitud de la señal a 660nm es característica del complejo Fe(II)-TPTZ (Triazina) retenido en la resina y es útil para la determinación cuantitativa de hierro en agua (Standard Methods for the examination of water and wastewater, 2017).

#### 7.4.15 Sulfatos

Se aforó una de las celdas del espectrofotómetro a 25mL con muestra de agua. En otra celda se aforó a 25mL con una mezcla de cloruro de bario grado analítico y muestra de agua, se mezcló. Previamente se programó el espectrofotómetro para 5 minutos con la mezcla a 450nm y se procedió a la lectura en términos de absorbancia, esto basado en el método 4500 SO4-2-F de Standard Methods (Standard Methods for the examination of water and wastewater, 2017).

#### 7.4.16 Otros análisis químicos

Se utilizaron métodos basándose en el Standard Methods for the Examination and Wastewater para los siguientes compuestos:

- Cloruros (Método 325 y 4500 Cl-E)
- Magnesio (Método 3500 Mg)
- Manganeseo (Método 3500 Mn)
- Cobre (Método 3500 Cu)
- Calcio (Método 3500 Ca, Método EDTA)

Se puso en funcionamiento el equipo según procedimientos estandarizados de operación, se prepararon las soluciones del estándar según el método, se realizó una curva de calibración con concentraciones conocidas que se encuentren dentro de los rangos a evaluar, posteriormente se realizaron el análisis de las muestras para obtener los resultados. (Standard Methods for the examination of water and wastewater, 2017).

Después de obtener y analizar todos los resultados microbiológicos y fisicoquímicos de las muestras, se logró verificar si el agua ha tenido una desinfección correcta y frecuente. También se le proporcionó un informe de todos los resultados obtenidos a la administración correspondiente y se les dieron las recomendaciones necesarias o medidas a implementar para mejorar la calidad del agua que se distribuye a la población; esto se logró dando una capacitación al personal de

mantenimiento sobre cómo realizar un lavado adecuado del tanque y también indicando la frecuencia con que debe realizarse según sus recursos.

## **7.5 Diseño de la investigación**

### **7.5.1 Número de Réplicas y diseño de muestreo**

Las muestras se tomaron de la siguiente manera: 1 del pozo de extracción, 1 del tanque de distribución y de 20 viviendas, realizando este proceso en época seca y el otro en época lluviosa, haciendo un total de 44 muestras.

### **7.5.2 Análisis de Resultados**

- Análisis con estadística descriptiva de los resultados microbiológicos y fisicoquímicos por medio de desviación estándar.
- Cada análisis tanto microbiológicos como los fisicoquímicos, se clasificaron según el cumplimiento o no, de la norma COGUANOR NGT 29 001 para agua potable y con esto se determinó si es apta o no para consumo humano.
- Ya con las variables clasificadas, según cumplan o no, se estimará la proporción de cumplimiento aplicando la prueba de hipótesis binomial a nivel de significancia  $\alpha$  de 0.05.
- La hipótesis queda establecida de la siguiente manera:

Ho:  $p = 0.5$  no cumple con la normativa COGUANOR NGO 29 001. Para agua potable

Ha:  $p > 0.5$  si cumple con la normativa COGUANOR NGO 29 001. Para agua potable.

## 8. RESULTADOS

La estadística descriptiva de los resultados mostrados a continuación se incluye en el Anexo 3.

**Tabla No.1 Análisis Físicoquímico de Color (U Pt/Co)**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo	01	10	5 U Pt/Co	35 U Pt/Co
Tanque	01	11		
Grifo 1	01	08		
Grifo 2	01	01		
Grifo 3	01	15		
Grifo 4	01	01		
Grifo 5	01	01		
Grifo 6	01	09		
Grifo 7	01	01		
Grifo 8	01	12		
Grifo 9	01	01		
Grifo 10	01	15		
Grifo 11	01	12		
Grifo 12	01	10		
Grifo 13	01	10		
Grifo 14	01	13		
Grifo 15	01	16		
Grifo 16	01	11		
Grifo 17	01	09		
Grifo 18	01	12		
Grifo 19	01	12		
Grifo 20	01	15		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable - LMP: Límite Máximo Permisible - U Pt/Co: Unidades de Platino Cobalto

**Tabla No.2 Análisis Físicoquímico de Olor**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo Tanque Grifo 1-20	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM). Todas las muestras obtuvieron el mismo resultado.

LMA: Límite Máximo Aceptable - LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.3 Análisis Físicoquímico de Conductividad Eléctrica (uS/cm)**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo	469	490.0	750 uS/cm	1500 uS/cm
Tanque	469	490.7		
Grifo 1	465	469.5		
Grifo 2	467	468.9		
Grifo 3	467	476.8		
Grifo 4	469	237.1		
Grifo 5	470	476.6		
Grifo 6	470	472.3		
Grifo 7	462	476.6		
Grifo 8	465	477.2		
Grifo 9	467	475.7		
Grifo 10	467	479.9		
Grifo 11	468	480.6		
Grifo 12	469	477.5		
Grifo 13	490	478.3		
Grifo 14	468	477.4		
Grifo 15	468	477.4		
Grifo 16	465	480.4		
Grifo 17	462	507.3		
Grifo 18	464	479.3		
Grifo 19	469	478.3		
Grifo 20	469	473.7		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

uS/cm: micro Siemens por centímetro

**Tabla No.4 Análisis Físicoquímico de Salinidad (mg/L)**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo Tanque Grifo 1-20	0	0	0mg/L	0mg/L

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM). Todas las muestras obtuvieron el mismo resultado.

LMA: Límite Máximo Aceptable - LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.5**  
**Análisis fisicoquímico de Sólidos Totales Disueltos (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	237.0	240.6	500 mg/L	1000 mg/L
Tanque	235.0	240.9		
Grifo 1	232.0	230.5		
Grifo 2	234.0	230.3		
Grifo 3	233.0	234.1		
Grifo 4	235.0	237.1		
Grifo 5	234.0	233.5		
Grifo 6	234.0	231.9		
Grifo 7	232.0	234.0		
Grifo 8	232.0	234.3		
Grifo 9	234.0	233.6		
Grifo 10	234.0	235.7		
Grifo 11	234.0	236.0		
Grifo 12	235.0	234.5		
Grifo 13	244.0	234.9		
Grifo 14	234.0	234.4		
Grifo 15	235.0	234.4		
Grifo 16	233.0	235.9		
Grifo 17	231.0	249.1		
Grifo 18	233.0	235.3		
Grifo 19	235.0	234.9		
Grifo 20	235.0	232.6		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No. 6**  
**Análisis Físicoquímico de Turbidez (UNT)**

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo	0.14	0.10	5 UNT	15 UNT
Tanque	0.09	0.16		
Grifo 1	0.17	0.12		
Grifo 2	0.12	0.17		
Grifo 3	0.28	0.20		
Grifo 4	0.15	0.09		
Grifo 5	0.14	0.15		
Grifo 6	0.14	0.19		
Grifo 7	0.37	0.10		
Grifo 8	0.11	0.10		
Grifo 9	0.27	0.24		
Grifo 10	0.14	0.13		
Grifo 11	0.12	0.10		
Grifo 12	0.09	0.20		
Grifo 13	0.21	0.16		
Grifo 14	0.14	0.13		
Grifo 15	0.10	0.14		
Grifo 16	0.11	0.14		
Grifo 17	0.14	0.40		
Grifo 18	0.12	0.09		
Grifo 19	0.12	0.15		
Grifo 20	0.10	0.14		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

UNT: Unidades de Turbidez Nefelométricas

**Tabla No. 7**  
**Análisis fisicoquímico del Potencial de Hidrógeno (pH)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	6.50	6.75	7.0-7.5	6.5-8.5
Tanque	6.70	6.78		
Grifo 1	6.89	6.50		
Grifo 2	6.76	6.55		
Grifo 3	6.77	6.59		
Grifo 4	6.70	6.68		
Grifo 5	6.75	6.74		
Grifo 6	6.75	6.75		
Grifo 7	6.75	6.74		
Grifo 8	6.87	6.81		
Grifo 9	6.86	6.82		
Grifo 10	6.85	6.83		
Grifo 11	6.86	6.80		
Grifo 12	6.90	6.82		
Grifo 13	7.26	6.83		
Grifo 14	7.17	6.80		
Grifo 15	6.80	6.77		
Grifo 16	6.76	6.76		
Grifo 17	6.70	7.14		
Grifo 18	6.70	7.20		
Grifo 19	6.70	6.97		
Grifo 20	6.79	7.00		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible



Tabla No.8

Análisis de Físicoquímico de Dureza Total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMA	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo	164.0	257.6	100 mg/L	500 mg/L
Tanque	328.0	240.9		
Grifo 1	292.0	271.6		
Grifo 2	234.0	243.2		
Grifo 3	240.0	258.0		
Grifo 4	264.0	244.4		
Grifo 5	272.0	256.8		
Grifo 6	292.0	224.8		
Grifo 7	276.0	263.2		
Grifo 8	308.0	264.8		
Grifo 9	392.0	257.6		
Grifo 10	288.0	257.6		
Grifo 11	316.0	266.8		
Grifo 12	296.0	261.6		
Grifo 13	264.0	256.0		
Grifo 14	300.0	258.0		
Grifo 15	288.0	260.8		
Grifo 16	288.0	262.8		
Grifo 17	250.0	271.2		
Grifo 18	292.0	253.2		
Grifo 19	124.0	257.6		
Grifo 20	240.0	265.2		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.9**  
**Análisis Físicoquímico de Hierro Total (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	0.05	0.01	0mg/L	0.3mg/L
Tanque	0.05	0.03		
Grifo 1	0.05	0.06		
Grifo 2	0.07	0.05		
Grifo 3	0.07	0.10		
Grifo 4	0.05	0.06		
Grifo 5	0.05	0.04		
Grifo 6	0.05	0.03		
Grifo 7	0.05	0.05		
Grifo 8	0.07	0.04		
Grifo 9	0.05	0.09		
Grifo 10	0.05	0.07		
Grifo 11	0.05	0.06		
Grifo 12	0.05	0.06		
Grifo 13	0.13	0.07		
Grifo 14	0.05	0.06		
Grifo 15	0.05	0.05		
Grifo 16	0.05	0.02		
Grifo 17	0.05	0.08		
Grifo 18	0.05	0.03		
Grifo 19	0.05	0.09		
Grifo 20	0.05	0.04		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.10**  
**Análisis Físicoquímico de Calcio (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	32.84	51.58	75mg/L	150mg/L
Tanque	65.67	54.47		
Grifo 1	58.47	54.39		
Grifo 2	32.04	50.70		
Grifo 3	48.06	51.66		
Grifo 4	52.86	50.94		
Grifo 5	54.46	51.42		
Grifo 6	58.47	45.01		
Grifo 7	55.27	52.70		
Grifo 8	61.67	53.02		
Grifo 9	78.49	51.58		
Grifo 10	57.66	51.58		
Grifo 11	63.28	53.42		
Grifo 12	59.27	52.38		
Grifo 13	52.86	51.26		
Grifo 14	60.07	51.66		
Grifo 15	57.67	52.22		
Grifo 16	57.66	62.10		
Grifo 17	48.06	60.39		
Grifo 18	58.47	50.70		
Grifo 19	24.83	51.58		
Grifo 20	65.67	53.10		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.11**  
**Análisis Físicoquímico de Magnesio (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	19.92	31.29	50mg/L	100mg/L
Tanque	39.84	33.04		
Grifo 1	35.47	32.99		
Grifo 2	19.44	30.76		
Grifo 3	29.15	31.34		
Grifo 4	32.07	30.90		
Grifo 5	33.04	31.19		
Grifo 6	35.47	27.31		
Grifo 7	33.53	31.97		
Grifo 8	37.41	32.17		
Grifo 9	47.62	31.29		
Grifo 10	34.98	31.29		
Grifo 11	38.38	32.41		
Grifo 12	35.95	31.78		
Grifo 13	32.07	31.10		
Grifo 14	36.44	31.14		
Grifo 15	34.98	31.68		
Grifo 16	34.98	31.92		
Grifo 17	29.15	29.25		
Grifo 18	35.47	30.76		
Grifo 19	15.06	31.29		
Grifo 20	29.15	32.22		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No. 12 Análisis Físicoquímico de Manganeso (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo Tanque Grifo 1-20	0.05	0.05	0.10mg/L	0.40mg/L

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM). Todas las muestras obtuvieron el mismo resultado.

LMA: Límite Máximo Aceptable - LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.13**  
**Análisis fisicoquímico de Nitratos (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	09.2	22.6	0mg/L	50mg/L
Tanque	11.8	29.3		
Grifo 1	05.4	26.4		
Grifo 2	11.9	28.0		
Grifo 3	11.6	31.7		
Grifo 4	11.4	35.4		
Grifo 5	5.75	17.0		
Grifo 6	08.4	28.3		
Grifo 7	10.3	18.8		
Grifo 8	12.7	26.8		
Grifo 9	11.0	12.4		
Grifo 10	09.9	29.2		
Grifo 11	10.5	22.3		
Grifo 12	09.7	15.7		
Grifo 13	10.3	12.5		
Grifo 14	11.3	16.2		
Grifo 15	09.8	15.6		
Grifo 16	11.1	09.0		
Grifo 17	10.8	09.4		
Grifo 18	10.5	11.4		
Grifo 19	10.9	20.6		
Grifo 20	09.2	22.8		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No.14**  
**Análisis Físicoquímico de Nitritos (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	0.03	0.02	0mg/L	3mg/L
Tanque	0.04	0.03		
Chorro 1	0.02	0.02		
Chorro 2	0.02	0.02		
Chorro 3	0.02	0.01		
Chorro 4	0.02	0.02		
Chorro 5	0.02	0.02		
Chorro 6	0.02	0.06		
Chorro 7	0.02	0.03		
Chorro 8	0.02	0.02		
Chorro 9	0.02	0.01		
Chorro 10	0.02	0.15		
Chorro 11	0.03	0.02		
Chorro 12	0.02	0.01		
Chorro 13	0.02	0.29		
Chorro 14	0.02	0.02		
Chorro 15	0.03	0.01		
Chorro 16	0.02	0.01		
Chorro 17	0.02	0.04		
Chorro 18	0.02	0.04		
Chorro 19	0.02	0.02		
Chorro 20	0.02	0.02		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No. 15**  
**Análisis Físicoquímico de Cloruros (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	28.0	25.8	100mg/L	250mg/L
Tanque	26.6	27.0		
Chorro 1	25.7	25.8		
Chorro 2	26.6	25.5		
Chorro 3	25.2	24.5		
Chorro 4	26.0	25.5		
Chorro 5	25.1	25.2		
Chorro 6	26.0	25.4		
Chorro 7	25.7	24.6		
Chorro 8	26.6	25.9		
Chorro 9	28.3	25.7		
Chorro 10	26.3	25.0		
Chorro 11	27.2	26.2		
Chorro 12	27.3	26.6		
Chorro 13	27.7	25.5		
Chorro 14	26.3	27.8		
Chorro 15	25.6	25.5		
Chorro 16	26.3	27.2		
Chorro 17	26.9	26.0		
Chorro 18	25.8	26.3		
Chorro 19	25.9	24.8		
Chorro 20	26.5	24.8		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No. 16**  
**Análisis Físicoquímico de Sulfatos (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	23.0	11.0	100mg/L	250mg/L
Tanque	38.1	10.0		
Chorro 1	48.0	10.0		
Chorro 2	14.0	11.0		
Chorro 3	13.2	10.0		
Chorro 4	08.0	11.0		
Chorro 5	43.1	12.0		
Chorro 6	24.3	11.0		
Chorro 7	11.0	10.0		
Chorro 8	06.0	12.0		
Chorro 9	28.3	10.0		
Chorro 10	14.3	10.0		
Chorro 11	20.1	11.0		
Chorro 12	27.3	11.0		
Chorro 13	27.7	10.0		
Chorro 14	33.0	12.0		
Chorro 15	26.0	10.0		
Chorro 16	33.0	11.0		
Chorro 17	24.0	12.0		
Chorro 18	14.0	10.0		
Chorro 19	19.3	12.0		
Chorro 20	31.0	11.0		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible



**Tabla No.17**  
**Análisis Físicoquímico de Zinc (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	0.63	0.15	3mg/L	70mg/L
Tanque	0.90	0.15		
Chorro 1	1.14	0.11		
Chorro 2	0.93	0.13		
Chorro 3	0.91	0.16		
Chorro 4	0.73	0.18		
Chorro 5	1.03	0.21		
Chorro 6	0.90	0.37		
Chorro 7	0.61	0.31		
Chorro 8	0.73	0.18		
Chorro 9	0.74	0.25		
Chorro 10	0.81	0.20		
Chorro 11	0.79	0.12		
Chorro 12	0.81	0.17		
Chorro 13	0.63	0.18		
Chorro 14	0.98	0.21		
Chorro 15	0.71	0.28		
Chorro 16	0.94	0.19		
Chorro 17	0.79	0.24		
Chorro 18	0.79	0.39		
Chorro 19	0.94	0.16		
Chorro 20	0.78	0.22		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

**Tabla No. 18**  
**Análisis Físicoquímico de Cobre (mg/L)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMA</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	0.05	0.10	0.05mg/L	1.5mg/L
Tanque	0.05	0.06		
Chorro 1	0.05	0.11		
Chorro 2	0.05	0.05		
Chorro 3	0.05	0.05		
Chorro 4	0.05	0.03		
Chorro 5	0.05	0.05		
Chorro 6	0.05	0.05		
Chorro 7	0.05	0.02		
Chorro 8	0.05	0.06		
Chorro 9	0.05	0.01		
Chorro 10	0.05	0.04		
Chorro 11	0.05	0.09		
Chorro 12	0.05	0.01		
Chorro 13	0.05	0.05		
Chorro 14	0.05	0.05		
Chorro 15	0.05	0.13		
Chorro 16	0.05	0.05		
Chorro 17	0.05	0.04		
Chorro 18	0.05	0.03		
Chorro 19	0.05	0.05		
Chorro 20	0.05	0.12		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 19

## Análisis Microbiológico de Coliformes totales (NMP/100mL)

Muestra	Época seca	Época lluviosa	COGUANOR NGT 29001 LMP
Pozo	240	50	No detectables en 100mL
Tanque	900	20	
Chorro 1	240	170	
Chorro 2	540	240	
Chorro 3	920	130	
Chorro 4	540	80	
Chorro 5	540	80	
Chorro 6	500	170	
Chorro 7	1600	50	
Chorro 8	220	240	
Chorro 9	170	80	
Chorro 10	110	30	
Chorro 11	300	110	
Chorro 12	600	80	
Chorro 13	500	70	
Chorro 14	300	170	
Chorro 15	170	130	
Chorro 16	240	220	
Chorro 17	500	900	
Chorro 18	280	240	
Chorro 19	240	60	
Chorro 20	300	42	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

LMA: Límite Máximo Aceptable

LMP: Límite Máximo Permisible

NMP: Número Más Probable

**Tabla No.20**  
**Análisis de *Escherichia coli* (NMP/100mL)**

<b>Muestra</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época lluviosa</b>	<b>COGUANOR NGT 29001 LMP</b>
Pozo	4	9	No detectables en 100mL
Tanque	19	1	
Chorro 1	6	17	
Chorro 2	8	30	
Chorro 3	6	7	
Chorro 4	2	50	
Chorro 5	2	30	
Chorro 6	26	130	
Chorro 7	350	30	
Chorro 8	14	50	
Chorro 9	170	13	
Chorro 10	27	30	
Chorro 11	300	70	
Chorro 12	120	80	
Chorro 13	10	14	
Chorro 14	22	2	
Chorro 15	14	11	
Chorro 16	17	17	
Chorro 17	10	7	
Chorro 18	17	9	
Chorro 19	32	7	
Chorro 20	14	8	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

LMP: Límite Máximo Permisible

NMP: Número Más Probable

Tabla No.21 Estadística final del total de las muestras

No.	PARÁMETRO	REQUERIMIENTOS COGUANOR NGO 29001 (LMA-LMP)	MEDIA	MÍNIMO-MÁXIMO		Desviación Estándar ( $\sigma$ )	Probabilidad (p)	CUMPLE/NO CUMPLE
1	Color	5-35 U Pt/Co	5.16	1.00	16.00	5.50	1.00	100% de muestras CUMPLE
2	Conductividad	750-1500 uS/cm	468.19	462.00	507.30	36.71	1.00	100% de muestras CUMPLE
3	Salinidad	0 mg/mL	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	100% de muestras CUMPLE
4	Solidos totales	500-1000 mg/mL	234.85	230.30	249.10	3.35	1.00	100% de muestras CUMPLE
5	Turbidez	5-15 UNT	0.15	0.09	0.40	0.07	1.00	100% de muestras CUMPLE
6	pH	6.5-8.5	6.80	6.50	7.26	0.16	1.00	100% de muestras CUMPLE
7	Dureza total CaCO <sub>3</sub>	100-500 mg/L	265.04	124.00	392.00	39.48	1.00	100% de muestras CUMPLE
8	Hierro total	0-0.3 mg/L	0.06	0.01	0.13	0.02	1.00	100% de muestras CUMPLE
9	Calcio	75-150 mg/L	53.67	24.83	78.49	8.77	1.00	100% de muestras CUMPLE
10	Magnesio	50-100 mg/L	32.02	15.06	47.62	5.13	1.00	100% de muestras CUMPLE
11	Manganeso	0.1-0.4 mg/L	0.50	0.05	0.05	0.00	1.00	100% de muestras CUMPLE
12	Nitratos	0-50 mg/L	15.59	5.40	35.40	7.76	1.00	100% de muestras CUMPLE
13	Nitritos	0-3 mg/L	0.03	0.04	0.29	0.05	1.00	100% de muestras CUMPLE
14	Cloruros	100-250 mg/L	26.10	24.50	28.30	0.91	1.00	100% de muestras CUMPLE
15	Sulfatos	100-250 mg/L	17.38	6.00	48.00	10.23	1.00	100% de muestras CUMPLE
16	Zinc	3-70 mg/L	0.52	0.11	1.14	0.33	1.00	100% de muestras CUMPLE
17	Cobre	0.05-1.5 mg/L	0.05	0.01	0.13	0.02	1.00	100% de muestras CUMPLE
18	Coliformes totales	No detectables en 100 mL	302.55	20.00	1600.00	307.91	0.00	100% de muestras NO CUMPLE
19	<i>Escherichia coli</i>	No detectables en 100 mL	41.16	1.00	350.00	72.22	0.00	100% de muestras NO CUMPLE

Fuente: Datos Experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM) y Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Tabla No.22 Estadística diferencial de muestreo de  
Fase 1 (Época seca) y Fase 2 (Época lluviosa)**

No.	PARÁMETRO	MEDIA, FASE 1 (Época seca)	MEDIA, FASE 2 (Época lluviosa)	NIVEL DE SIGNIFICANCIA 0.05 (P(T<=t) dos colas)	DIFERENCIA/NO DIFERENCIA
1	Color	1.00	9.32	1.50E-7	Sí hay diferencia significativa
2	Conductividad uS/cm	468.14	468.25	0.99	No hay diferencia significativa
3	Salinidad mg/L	0.00	0.00	-	No hay diferencia significativa
4	Solidos totales mg/L	234.32	235.39	0.31	No hay diferencia significativa
5	Turbidez UNT	0.15	0.15	0.95	No hay diferencia significativa
6	pH	6.81	6.80	0.89	No hay diferencia significativa
7	Dureza total mg/L CaCO <sub>3</sub>	273.09	256.99	0.19	No hay diferencia significativa
8	Hierro total mg/L	0.06	0.05	0.69	No hay diferencia significativa
9	Calcio mg/L	54.72	52.63	0.43	No hay diferencia significativa
10	Magnesio mg/L	32.71	31.32	0.37	No hay diferencia significativa
11	Manganeso mg/L	0.05	0.05	-	No hay diferencia significativa
12	Nitratos mg/L	10.16	21.01	1.66E-6	Sí hay diferencia significativa
13	Nitritos mg/L	0.02	0.04	0.19	No hay diferencia significativa
14	Cloruros mg/L	26.44	25.75	4.99E-3	Sí hay diferencia significativa
15	Sulfatos mg/L	23.94	10.82	1.76E-5	Sí hay diferencia significativa
16	Zinc mg/L	0.83	0.21	1.01E-3	Sí hay diferencia significativa
17	Cobre mg/L	0.05	0.06	0.35	No hay diferencia significativa
18	Coliformes totales NMP	452.27	152.82	1.87E-3	Sí hay diferencia significativa
19	<i>Escherichia coli</i> NMP	54.09	28.27	0.21	No hay diferencia significativa

Fuente: Datos Experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM) y Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

(P(T<=t): prueba de t para dos medias emparejadas

## 9. DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de pozo que se distribuye en colonia “Los Ángeles” de la Zona 2 en aldea Boca del Monte, Municipio de Villa Canales, Departamento de Guatemala, para determinar si es apta o no para el consumo humano, basándose en la Norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable, la cual indica Límites Máximos Aceptables (LMA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para cada parámetro. Boca del Monte es una aldea con hidrografía abundante (Anexo 1) que cuenta con 3 ríos, 3 quebradas y un riachuelo por lo que el agua subterránea y sobre todo la Napa Freática también es abundante; la altura es de 1350 MSN (Gall, 1976) que es más bajo que Santa Catarina Pinula, municipio con el que colinda al este, esto hace que las aguas llovedizas siempre corran en dirección y en mayor proporción hacia Boca del Monte. En la colonia “Los Ángeles”, donde se realizó el muestreo, hay una construcción subterránea tipo túnel que la atraviesa de lado a lado y el pozo está ubicado a 60m este. Esta construcción se realizó para el paso de corrientes de agua llovediza y aguas negras que vienen de varias aldeas del municipio de Santa Catarina Pinula; esto representa un alto nivel de contaminación de aguas subterráneas, debido a que el túnel se construyó en el año 1998 y es posible que este ya tenga daños en su estructura y se estén filtrando aguas negras a las capas subterráneas.

Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), la época seca abarca los meses de marzo hasta mayo y la época lluviosa de junio a julio y de agosto a octubre por interrupción de la canícula que es una época donde disminuyen las lluvias (INSIVUMEH, 2017); debido a esto el muestreo se llevó a cabo en dos fases, una en época seca (Mayo 2017) tomando una muestra de tanque, una de pozo y en 20 viviendas y otra fase en época lluviosa (Agosto 2017) con otras 22 muestras para hacer un total de 44 muestras analizadas. El estudio se realizó de esta manera porque en época lluviosa la filtración de aguas negras y otros contaminantes a las capas de la tierra, suele aumentar y pueden afectar el contenido de las aguas de pozo que se distribuyen a la población.

Para llevar a cabo el análisis de la potabilidad de agua se realizaron análisis fisicoquímicos de color, olor, conductividad eléctrica, salinidad, potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (STD), turbidez, dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ), hierro total, calcio, magnesio, manganeso, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, zinc y cobre; también análisis microbiológicos de coliformes totales y

*Escherichia coli*. Todos los análisis fisicoquímicos realizados sí cumplieron con la norma COGUANOR NGT 29001 pero los análisis microbiológicos no cumplieron.

Los análisis organolépticos de color y olor cumplieron con la norma COGUANOR NGT 29001 como puede verse en la Tabla No. 1 y No. 2. Todas las muestras en ambas fases dieron como resultado “No Rechazables” para olor, por lo que las muestras no representan peligro de contaminación por olores extraños. El color fue medido en la escala de Platino Cobalto y todas las muestras dieron un resultado por debajo de lo permitido en la norma (COGUANOR NGT 29001 LMA 5U Pt/Co y LMP 35U Pt/Co).

Dentro de los análisis físicos, la turbidez de todas las muestras fue medida en Unidades de Turbidez Nefelométricas (UTN) donde el 100% de las muestras están por debajo de los límites indicados por la norma (COGUANOR NGT 29001 LMA 100UNT y LMP 500 UNT) como puede verse en la Tabla No. 6; al tener bajos niveles de turbidez es posible desinfectar el agua con cloro, compuesto normalmente utilizado para desinfección de agua potable, ya que esto le provee al agua una alta probabilidad de que los contaminantes microbiológicos sean susceptibles a la acción del desinfectante. El análisis muestra salinidad de 0mg/mL en todas las muestras en la tabla No. 4. En la tabla No. 3 se muestra la medida de la conductividad eléctrica o medida de capacidad del agua para transportar energía eléctrica; la unidad de medida para este parámetro es de Siemens para el cual la norma COGUANOR NGT 29001 exige como LMA 750 uS/cm y LMP 1500 uS/cm; en este análisis el total de las muestras están por debajo de estos límites por lo que el agua sí cumple con la conductividad. Se realizó análisis de Sólidos Totales Disueltos (STD) para el que la norma exige como LMA 500mg/mL y LMP 1000mg/m y en el análisis el 100% de las muestras también cumplen con el parámetro ya que se encuentran por debajo de los límites indicados; el nivel máximo encontrado en las muestras fue de 249mg/mL, niveles que no se consideran que puedan causar algún tipo de daño a los consumidores.

El análisis químico como ya se indicó, fue completo, pero no realizaron mediciones de cloro ni cloro residual porque al agua no se le aplica cloración. Para iniciar el análisis químico se midió el pH (Tabla No. 7) en el que la norma exige un LMP de 6.5 a 8.5 y todas las muestras analizadas están dentro de este rango, por lo que el agua sí cumple con pH y da indicio de ausencia de contaminantes que alteran el pH.



La dureza total fue analizada como mg/L de  $\text{CaCO}_3$  para el que la norma COGUANOR NGT 29001 indica LMA de 100mg/L y LMP de 500mg/L, en este parámetro todas las muestras están por debajo de los límites indicados cumple con la dureza total (Tabla No. 8); el promedio de dureza fué de 265mg/L (Tabla No. 21) por lo que se le considera al agua como dura, dicha característica es inocua para la salud pero es crítica en el mantenimiento de tuberías y líneas de distribución provocando “taponamientos” de las vías, lo cual puede repercutir en costos extras. También se analizó el calcio para el que la norma COGUANOR NGT 29001 indica un LMA de 75mg/L y un LMP de 150 mg/L y todas las muestras cumplieron con dicho parámetro como se muestra en la Tabla No. 10.

El análisis de hierro total demostró que todas las muestras cumplen, como se indica en la Tabla No.9 donde el LMP indicado por la norma es de 0.3mg/L y todas están por debajo del nivel permitido. Este análisis es importante realizarlo para potabilidad de agua ya que las acumulaciones de hierro en las canalizaciones y en los depósitos puede ser motivo de crecimiento de bacterias porque este elemento es una fuente de energía para las bacterias como las fijadoras de hierro (Clesceri, 2005).

Otros metales analizados fueron magnesio (COGUANOR LMA 50mg/L y LMP 100mg/L), manganeso (COGUANOR LMA 0.1mg/L y LMP 0.4mg/L), zinc (COGUANOR LMA 3mg/L y LMP 70mg/L) y cobre (COGUANOR LMA 0.05mg/L y LMP 1.5mg/L), los cuales se indican en las Tablas No. 11, 12, 17 y 18 respectivamente. Todas las muestras analizadas están por debajo de los límites indicados para estos parámetros. Estos análisis se le realizaron al agua porque cuando las concentraciones de estos metales son elevadas, pueden afectar gravemente la salud de los consumidores. Los niveles altos de cobre pueden conllevar a daño permanente de los riñones y el hígado en niños menores de un año y en los adultos puede causar trastornos digestivos tales como nauseas, vómitos, diarrea y calambres estomacales; mismos síntomas que provocan las altas concentraciones de zinc. Los efectos secundarios por aumento de magnesio en agua incluyen letargo, confusión, alteraciones en el ritmo cardíaco normal, deterioro de la función renal como consecuencia de la presión arterial baja, somnolencia extrema, confusión y diarrea crónica; tanto el magnesio como el manganeso pueden producir problemas en el sistema nervioso (Dozier, 2017).

En el agua subterránea es muy común que la concentración de nitratos esté elevada y aunque son bajos los niveles de nitrato que naturalmente se encuentran, algunas veces pueden haber

niveles altos que son muy peligrosos para infantes si están arriba de 10mg/L produciendo una enfermedad llamada Metahemoglobinemia; los nitritos se encuentran en menor cantidad ya que son la forma más oxidada de los nitratos, pero siempre se debe controlar su concentración porque pueden ser tóxicos a altas concentraciones (Tebbutt, 2003). Dentro de los compuestos nitrogenados se analizaron nitratos (Tabla No.13) para los que la norma COGUANOR 29001 indica un LMA de 0mg/L y LMP de 50mg/L y nitritos (Tabla No.14) con un LMA de 0mg/L y un LMP de 3mg/L. El total de las muestras cumplen para nitratos y nitritos al estar por debajo de los límites indicados por la norma.

La medición de sulfatos o del ión sulfato es de suma importancia ya que tiene la tendencia a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor en el agua para abastecimiento público (agua potable) e industrial. La presencia o exceso de sulfatos en agua para consumo humano, provoca efectos purgativos en las personas que la ingieren, causando vómitos y diarrea y a la vez deshidratación severa (Clesceri, 2005). Para el análisis de sulfatos la norma COGUANOR NGT 29001 indica un LMA de 100mg/L y un LMP de 250mg/L y todas las muestras están por debajo de los límites indicados (Tabla No. 16), por lo que el agua si cumple para sulfatos.

La falta de cloro en agua potable es una de las causas principales de contaminación microbiológica y como ya se mencionó, el agua utilizada para el estudio, no cuenta con cloración por lo que solo se analizaron cloruros, donde la norma COGUANOR NGT 29001 indica un LMA de 100mg/L y un LMP de 250mg/L en donde todas las muestras cumplen para cloruros porque están por debajo de los límites indicados (Tabla No. 15). El cloro se utiliza ampliamente en aguas y drenajes, como agente oxidante y como desinfectante. Como agente oxidante se le emplea para el control de sabor, olor y para la eliminación de color en el tratamiento de aguas municipales, agua de uso industrial, aguas freáticas y drenajes domésticos (Ramos, 2006).

Todos los análisis organolépticos, físicos y químicos cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable en fase 1 y fase 2 (Época seca y Época lluviosa), por eso se considera que el análisis fisicoquímico cumple con la hipótesis planteada como se muestra en la Tabla No.20. Para analizar las diferencias entre las épocas de muestreo se utilizó una prueba de "t" para diferencia de medias con un nivel de significancia de 0.05 y cuando la Prueba ( $T \leq t$ ) es mayor a 0.05 no hay diferencia significativa entre épocas seca y lluviosa y si es menor a 0.05 si hay diferencia significativa y los resultados se muestran la Tabla No.21. Se marcó una diferencia en el color y los nitratos aumentando en la época lluviosa con respecto a la época seca, esto se debe al

aumento de filtración de agua en las capas de la tierra con las lluvias; en cuanto a los cloruros, sulfatos y el zinc disminuyeron su concentración significativamente.

Las Coliformes totales son microorganismos adecuados como indicadores de contaminación bacteriana ya que son contaminantes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de animales con sangre caliente, están presentes en cantidades abundantes y una característica que las diferencia de las bacterias patógenas es que permanecen más tiempo en el agua. (Arcos, Ávila, Estupiñan y Gómez, 2005). La presencia de coliformes totales en el agua potable es una fuerte indicación de que existe una contaminación por aguas residuales o contaminación por residuos de animales. Al agua, esta bacteria puede entrar de muchas maneras, por ejemplo, durante la lluvia, puede presentarse en ríos, arroyos, lagos o aguas subterráneas. Aunque no todas las bacterias *Escherichia coli* son patógenas, los estudios que se han llevado a cabo con anterioridad han demostrado que las concentraciones de este microorganismo resultan ser indicadores de enfermedades gastrointestinales (Rock & Rivera, 2014). Verificar la calidad microbiológica del agua, incluye también análisis microbiológicos, en la mayoría de los casos, se analiza la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, sin embargo también se pueden determinar concentraciones de patógenos específicos (Organización mundial de la Salud, 2006). Para esto, la norma COGUANOR NGT 29001 pone como Límite máximo permisible Coliformes fecales, totales y *Escherichia coli.*, colonias no detectables/100mL de muestra de agua. El objetivo de estos análisis es asegurar que el agua no tenga contaminantes microbiológicos.

Para fines de este estudio se analizaron coliformes totales en donde el total de las muestras en ambas fases dieron positivo; el crecimiento de colonias para coliformes en la época seca fue muy elevado lo que demuestra alta contaminación microbiológica del agua, las razones de estos resultados son: el tanque de recolección de agua no es lavado periódicamente y tampoco cuenta con un proceso de desinfección en donde el método más adecuado sería con cloro, de acuerdo a lo sugerido por la norma COGUANOR NGT 29001. Los resultados para *Escherichia coli* también dieron positivos en todas las muestras en ambas fases con un crecimiento alto de colonias de microorganismos para el NMP principalmente en época seca. Otra razón de esta contaminación es, que como se mencionó anteriormente, la infraestructura subterránea que conduce las aguas llovedizas y aguas negras, que está en la colonia, posiblemente esté dañada y se estén filtrando

contaminantes a las capas de la tierra lo que contamina el agua en la Napa Freática, de donde proviene el agua de pozo.

El primer muestreo se llevó a cabo en Mayo de 2017, para esta fecha el tanque tenía aproximadamente 3 meses de no ser lavado por lo que la contaminación de Coliformes totales y *Escherichia coli* dio resultados positivos y muy elevados en la primera fase (época seca). Para el segundo muestreo que se llevó a cabo en Agosto de 2017, se esperaría que esta contaminación hubiese aumentado pero como se ve en la Tabla No. 22 la contaminación microbiológica disminuyó significativamente de la época seca a la época lluviosa, ya que de tener una media de 452NMP/100mL de agua se disminuyó a una media de 152NMP/100mL de agua en coliformes totales y de 54NMP/100mL de agua a 28NMP/100mL de agua para *Escherichia coli*. La razón de este resultado es que dos semanas antes de realizar el segundo muestreo (Época lluviosa) se hizo un lavado del tanque de recolección y distribución (Anexo 2) y se aprovechó para capacitar al personal y administración del servicio de agua (Anexo 5).

A pesar de que la calidad fisicoquímica del agua cumple, la calidad microbiológica del agua no es adecuada, por lo que se considera que no es apta para el consumo humano. Se recomendó a la administración correspondiente, realizar lavados periódicamente al tanque de por lo menos una vez al mes y desinfectar el agua con cloro, así como realizar análisis microbiológicos, esto con el fin de mejorar la calidad del agua que se distribuye a la población de la zona 2 de Boca del Monte.

## 10. CONCLUSIONES

**10.1** Los análisis físicos de color, olor, turbidez, sólidos totales disueltos (STD), salinidad y conductividad eléctrica de las muestras de agua analizadas, si cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable.

**10.2** Los análisis químicos de potencial de hidrógeno (pH), dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ), hierro total, calcio, magnesio, manganeso, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, zinc y cobre de las muestras de agua analizadas, si cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable.

**10.3** Los análisis microbiológicos de Coliformes Totales y *Escherichia Coli* de las muestras de agua analizada no cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001 (NMP No detectable/100ml de muestra de agua) para agua potable ya que el total de las muestras en época seca y época lluviosa resultaron ser positivas para las pruebas realizadas por el método del Numero más Probable.

**10.4** A pesar de que al agua de pozo de la zona 2 de Boca del Monte cumple con todos los aspectos fisicoquímicos de la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable, no cumple con los aspectos microbiológicos, por lo que no se considera agua apta para el consumo humano.

**10.5** Con los resultados obtenidos se pudo verificar que la desinfección del tanque no se ha realizado de manera correcta y frecuente ya que el tanque de recolección de agua es lavado solamente 3 veces al año y no cuenta con un sistema de desinfección con cloro como lo exige la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable.

**10.6** Se elaboró un informe final con los resultados obtenidos el cual se entregó a la administración correspondiente del servicio de agua de colonia "Los Ángeles" de zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales; en el informe se presentan las recomendaciones necesarias para mejorar la calidad de agua que se distribuye a la población.

## 11. RECOMENDACIONES

**11.1** Establecer fechas para desinfección y lavado del tanque de recolección y distribución de agua por lo menos una vez al mes para evitar que el agua se contamine, utilizando equipo y vestuario adecuado. Los implementos utilizados serán exclusivamente para el lavado del tanque y deberán ser almacenados en la bodega de mantenimiento.

**11.2** Implementar un sistema de desinfección del agua con cloro para disminuir la contaminación microbiológica y así evitar enfermedades infecciosas en la población que la consume, en el cual también se recomienda realizar análisis fisicoquímico de cloro para que se mantengan las concentraciones requeridas por la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable. La frecuencia del análisis de cloro se irá espaciando dependiendo del cumplimiento de los requisitos.

**11.3** Después de realizar lavados frecuentemente y desinfección de agua con cloro, también debe llevarse un control de la calidad microbiológica del agua del tanque una vez al mes para mantener la calidad del agua y/o tomar acciones necesarias para corregirla.

**11.4** Indicar a la población de la colonia “Los Ángeles” de la zona 2 de Boca del Monte, que recibe el servicio de agua, instalar las tuberías y grifos de manera correcta, por lo menos a 1 metro del piso, lejos de animales domésticos y limpiar los grifos con alcohol por lo menos 2 veces por semana. También indicar a las personas que los recipientes donde reciben el agua deben estar limpios, en buen estado, ser herméticos y no ponerlos sobre el piso para evitar contaminación cruzada con los materiales del suelo.

## 12. BIBLIOGRAFÍAS

- American Public Health Association (APHA). 2010. Metals by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. <http://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=206>
- Arcos, M., Ávila, S., Estupinán, S. y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova Publicación Científica*, 3(4); 69-79
- Arizona Department of Environmental Quality. (2010). Water Quality. Recuperado de: <http://www.azdeq.gov/environ/water/index.html>
- Aymé, J. (2011). Determinación de calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. Trabajo de Tesis, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Azharía J. Appropriate Technology for water supplies and Sanitation Technical and economic option. USA 1980 67p. (p 62-64).
- Barahona, G. (2014). Documento Oficial de datos de pozo y tanque de servicio de agua en Colonia Los Ángeles, Boca del Monte, Villa Canales. Guatemala
- Clesceri LS., Greenberg AE., Eaton AD. Eds. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. XXXVII+10-161p.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). (2013). Norma Técnica Guatemalteca NGT 2
- Córdoba, M., Del Coco, V. y Basualdo, J. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3), 105-119
- Coronado, S. (2014). Comparación de los niveles de zinc sérico determinados con el método colorimétrico utilizando zincon y los obtenidos por espectrofotometría de absorción

atómica. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Colombia. 26: 68-74; 2014

Corry, J., Curtis, G. & Baird, R. (2011). Handbook of Culture Media for Food and Water Microbiology. Reino Unido: Royal Society of Chemistry 9001. Ministerio de Economía. Guatemala

Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). 2017. Ministerio de Economía. Guatemala.

de Vargas, L. (2004). Tratamiento de aguas para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo 1. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Perú. 306p.

Donis, J. (2008). Importancia de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua potable del municipio de Nueva Santa Rosa. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación.

Dozier, M (2017). Problemas del agua potable. Cooperativa de Texas, Extensión, Sistema Universitario de Texas A&M. Estados Unidos. Recuperado de: <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/I5472scopper.pdf>

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2003). Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Estados Unidos: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento

Gall, F. 1976. Diccionario Geográfico de Guatemala. Segunda Edición. Tomo I. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala.

García, L. y Iannaccone, J. (2014). Pseudomonas aeruginosa, indicador complementario de la calidad de agua potable: Análisis bibliográfico a nivel de Sudamérica. The Biologist, 12(1); 133-152.



- García, M. (2009). *Biología y Ecología: escases de agua*. CENopocisiones. España
- Gesche, E., Vallejos, A. y Saenz, M. (2003). Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. *Método de Número Más Probable*. 35(1); 99-107
- Hernandez, J. (2012). Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula. Trabajo de tesis, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Hidrogea. (2017). Boletín informativo sobre agua potable. Recuperado de: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>
- Instituto de Agricultura; Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Keith, J. Perfil del Agro y la Ruralidad de Guatemala 2014. Situación Actual y Tendencias. Editorial Cara Parens. Guatemala
- Instituto Nacional de Geografía (ING). 2017. Geografía del municipio de Villa Canales. Guatemala.
- Jenkins, D. (1983). *Manual de laboratorio: Química del agua*. 1ra edición. Editorial LIMUSA SA. México.
- Jenkins, D. (1995). *Química del agua*. Editorial Limusa. México.
- Kemmer, F. (1990). *Manual del agua*. Tomo 1. Editorial Calco SA. México
- López, K. (2015). Validación del método filtración por membrana para análisis microbiológico de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas marinas. *Bol. Cient. CIOH*, 33; 215–220.
- Marel, B. (2004). Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. Trabajo de tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Martín, I. (2004). Riesgo sanitario por presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en el agua para el consumo. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de General Sarmiento
- Marín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos – tratamiento y control de calidad de aguas. Editorial Díaz de Santos. España
- Mendizábal, M. (2010). Contaminación del agua. Revista Virtual REDESMA. Chile. Vol. 4(2)
- Merck, (2000). Manual de medios de cultivo. Alemania.
- Merck Millipore. (2014). Chromocult Agar para coliformes. Detección simultánea de bacterias coliformes y *E. coli* en el agua. Recuperado de: <http://www.prnewswire.com/news-releases/chromocult-coliform-agar-de-merck-millipore-se-establece-como-base-para-el-nuevo-estandar-de-la-iso-281447821.html>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2011). Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con fines múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego). Recuperado de: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo\\_de\\_muestreo\\_de\\_aguas\\_inta.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf)
- Ministry of Supply and Services Canada. (1993). US Government. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: [http://www.uach.cl/proforma/insitu/2\\_insitu.pdf](http://www.uach.cl/proforma/insitu/2_insitu.pdf)
- Molina, M.A. (2009). Evaluación de la Calidad Físicoquímica del Agua de la Planta Municipal que Abastece al Departamento de Zacapa, Municipio de Zacapa. Tesis de graduación para optar al Título de Químico Farmacéutico, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 44p.
- Olivas, E. y Alarcón, L. (2004). Manual de prácticas de microbiología básica y Microbiología de alimentos: Programa de Nutrición. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Organización mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Recuperado de:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1)

Organización Mundial de la Salud (2017). Agua potable. Recuperado de:  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/)

Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2010. Salud Ambiental. De lo Global a lo Local.  
Editorial: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. México.

Ortega, M., Rodríguez, C. & Zhurbenko, C. (2010). Validación de métodos alternativos para análisis microbiológico de alimentos y aguas. Métodos cualitativos. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 48(2); 162-176

OZ, Perú. (2011). Cómo medir la cantidad de sales en el agua con un conductímetro. Blog: OZ Perú.  
Recuperado de: <http://www.oz-peru.com/medir-la-cantidad-sales-agua-conductimetro/>

Paez, L. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de agua para consumo humano, Laboratorio de Salud Pública Huila. (Tesis de Licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana

Procurador de los Derechos Humanos (PDH). 2014. El acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala. Guatemala.

Ramos, M. (2006). Análisis de la calidad de agua para el consumo humano en el área del puerto de San José, Departamento de Escuintla. Trabajo de tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Ríos, S., Agudelo, R y Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 35(2); 236-247

Rock, C. & Rivera, B. (2014). La calidad del agua, *E. coli* y su salud. Recuperado de:  
<https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

Roldán, G. y Ramirez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Colombia: Universidad de Antioquia

Roldan, A. (2006). Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano que distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Trabajo de tesis, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Romero M. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Universidad Rafael Landívar de Guatemala. Boletín Electrónico Informativo No 8. Recuperado de:  
<http://www.ozonoalbacete.es/wp-content/uploads/2011/08/estudio-agua-ozono.pdf>

Schimelpfenig, T. (2016). Medicina en Zonas Silvestres NOLS. Londres: Stackpole Books

Sierra, C. (2011). Calidad del agua. 1ra edición. Editorial de la U, Universidad de Medellín. Colombia.

Standard Methods for de examination of water and wastewater. (2017). Recuperado de:  
<https://www.standardmethods.org/>

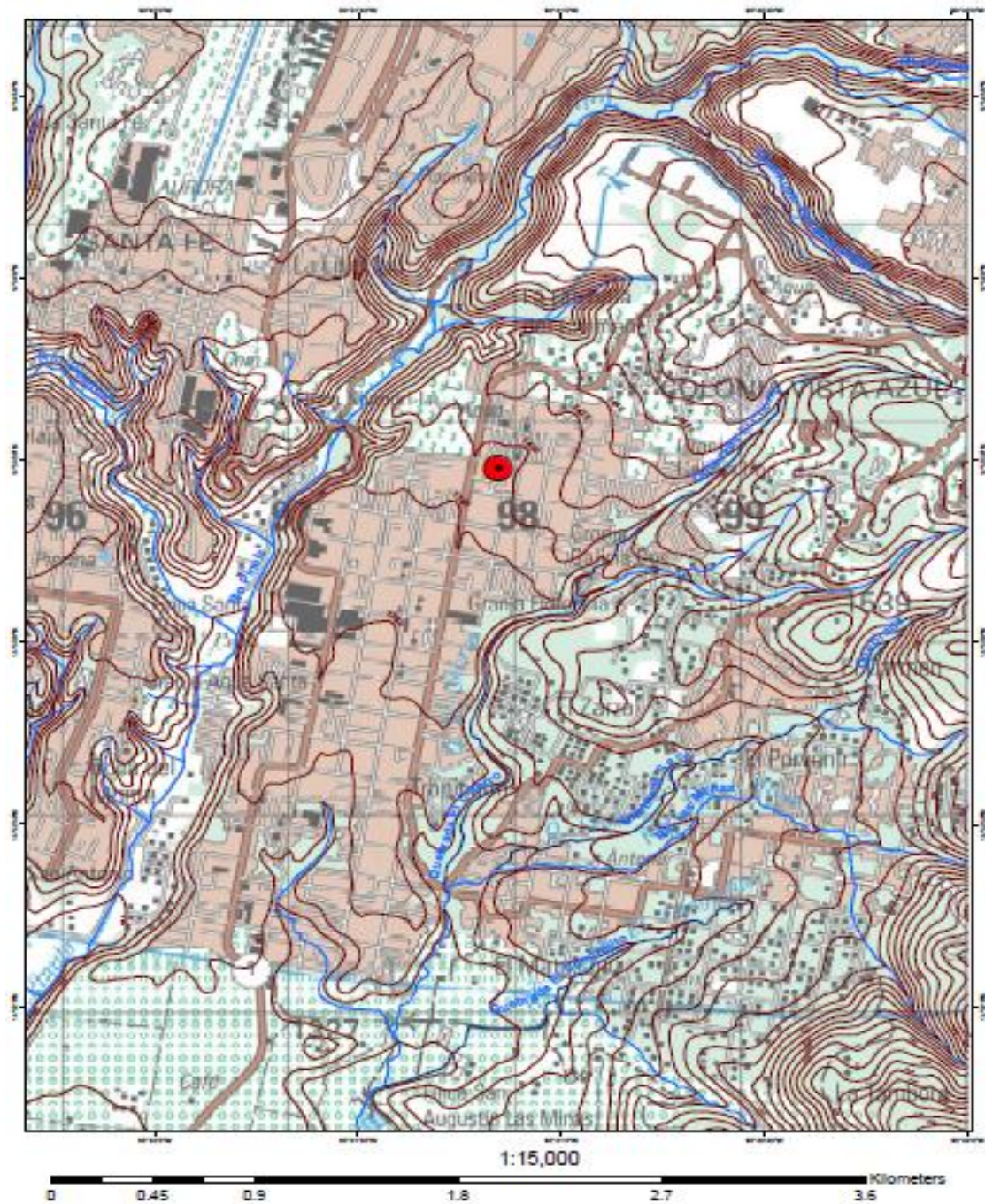
Tebbutt, T. (2002). Fundamentos de control de la calidad del agua. Editorial LIMUSA SA. México.

Tortora, G., Funke, B. & Case, C. (2007). Introducción a la microbiología. Buenos Aires: Médica Panamericana Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). (1998). Foro: agua para la vida. Fundación Ecológica Pampero. Venezuela. 230pp.

### 13. Anexos

#### Anexo No.1 Geografía del lugar de muestreo

Mapa No.1 Geografía completa de Boca del Monte, Villa canales



Fuente: Instituto Nacional de Geografía (ING), 2017





## **Anexo No. 2 Datos generales del pozo y tanque de agua**

### **Pozo**

Profundidad total del pozo: 83.5 metros y Cantidad del afluente: 4.30 metros

### **Equipo eléctrico**

- 1 motor sumergible marca Franklin de 3 H.P.
- 1 bomba sumergida de 3 H.P.
- 1 panel de arranque marca Franklin de 3 H.P.
- 1 conductor de Voltaje Pumptec de 230
- 1 para rayos de voltaje 230
- 1 caja R.H. con flipón de 60x60
- 3 líneas de cable calibre 10 para motor con una longitud de 225 metros
- 2 líneas de cable 10 para flote con una longitud de 160 metros
- 1 flote de mercurio
- 1 gabinete de metal para controles del pozo
- 2 metros fundidos de brocal con doble tapadera
- 1 tapadera de metal
- 100 metros de lazo para sostener la bomba

### **Área de construcción del pozo**

3.10 metros de largo por 2.10 metros de ancho; con terraza y puerta de metal de 2 metros por 90 centímetros para fácil acceso del mismo.

### **Medidas del tanque de agua:**

4.70 metros de ancho por 3.70 metros de fondo por 2.50 metros de alto, haciendo un total de 43.50 metros cúbicos y una capacidad de 217 toneles. La bomba de agua tiene una capacidad de bombeo de 15 galones por minuto, llenando el tanque en un promedio de 12 horas.

### **Medidas del terreno donde se ubica el tanque**

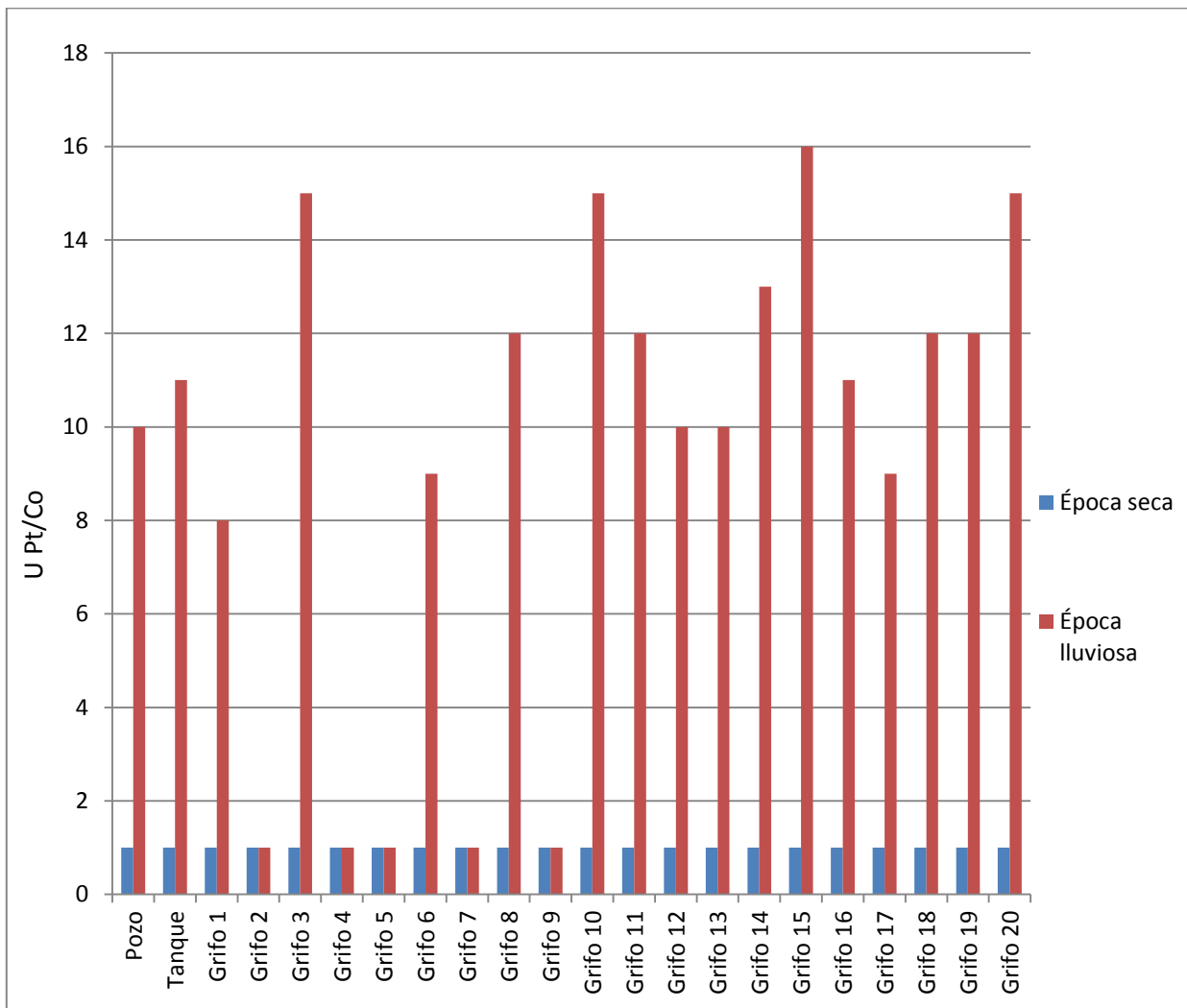
Lote circulado con Block tipo A, de 12.30 metros por 4.30 metros. Puerta de metal y una ventana con balcón.

(Barahona, 2014)

**Anexo No. 3 Gráficas comparativas de parámetros medidos en Época seca (Fase 1) y Época  
Lluviosa (Fase 2)**

**Gráfica No.1**

**Análisis Físicoquímico de Color (Unidades de Platino/Cobalto, U Pt/Co)**

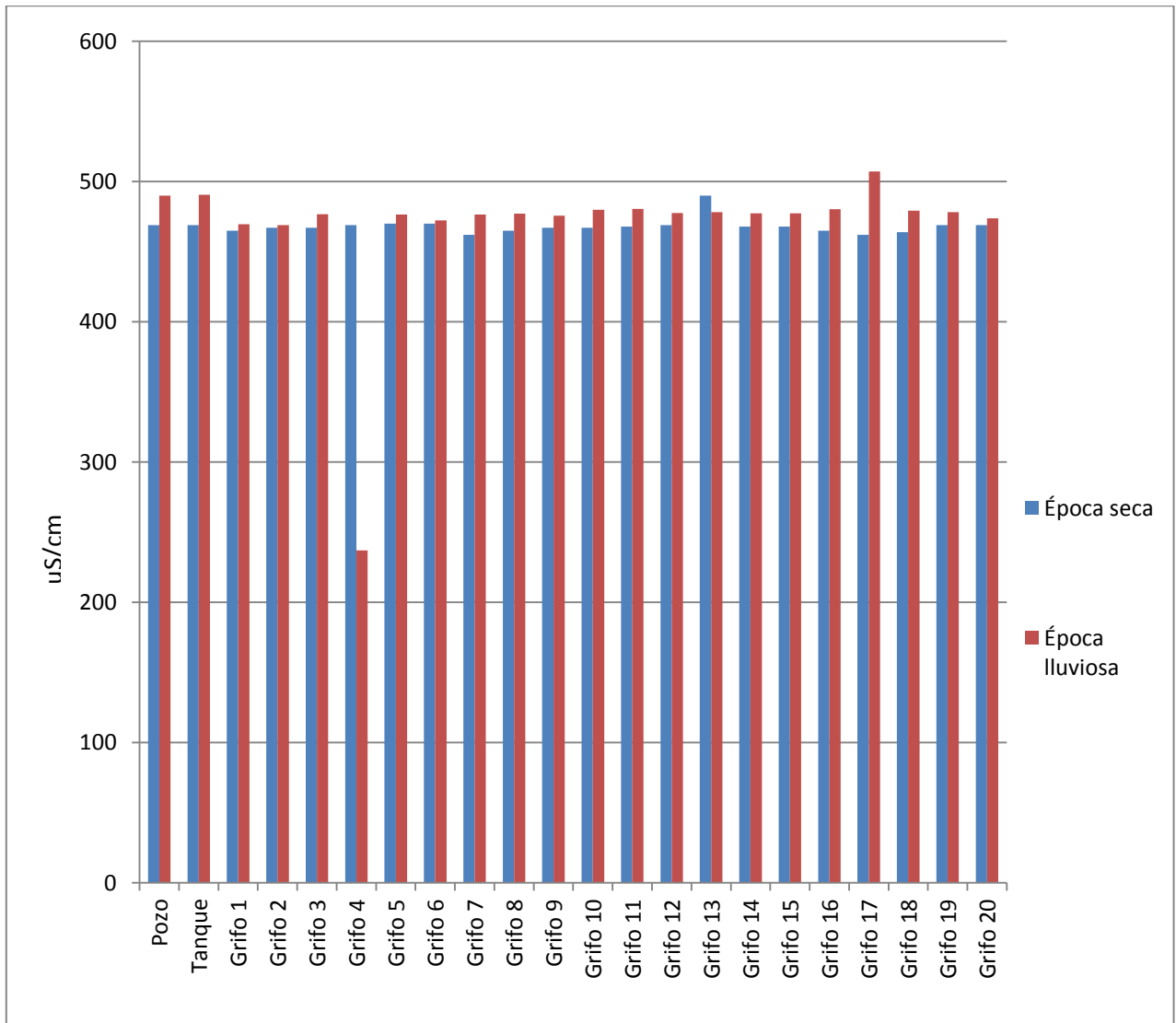


Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)



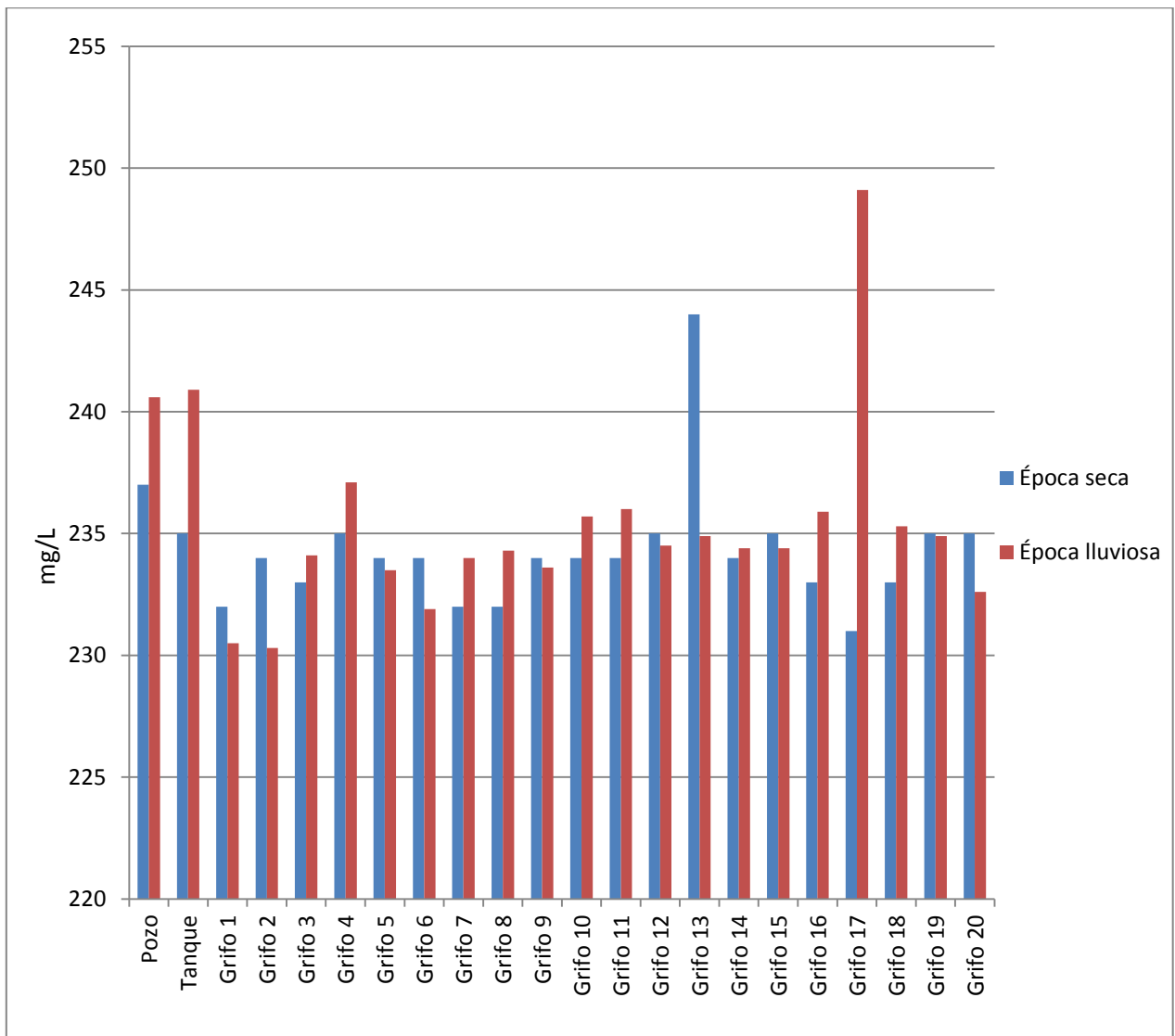
Gráfica No.2

Análisis Físicoquímico de Conductividad Eléctrica (micro Siemens por centímetro, uS/cm)



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

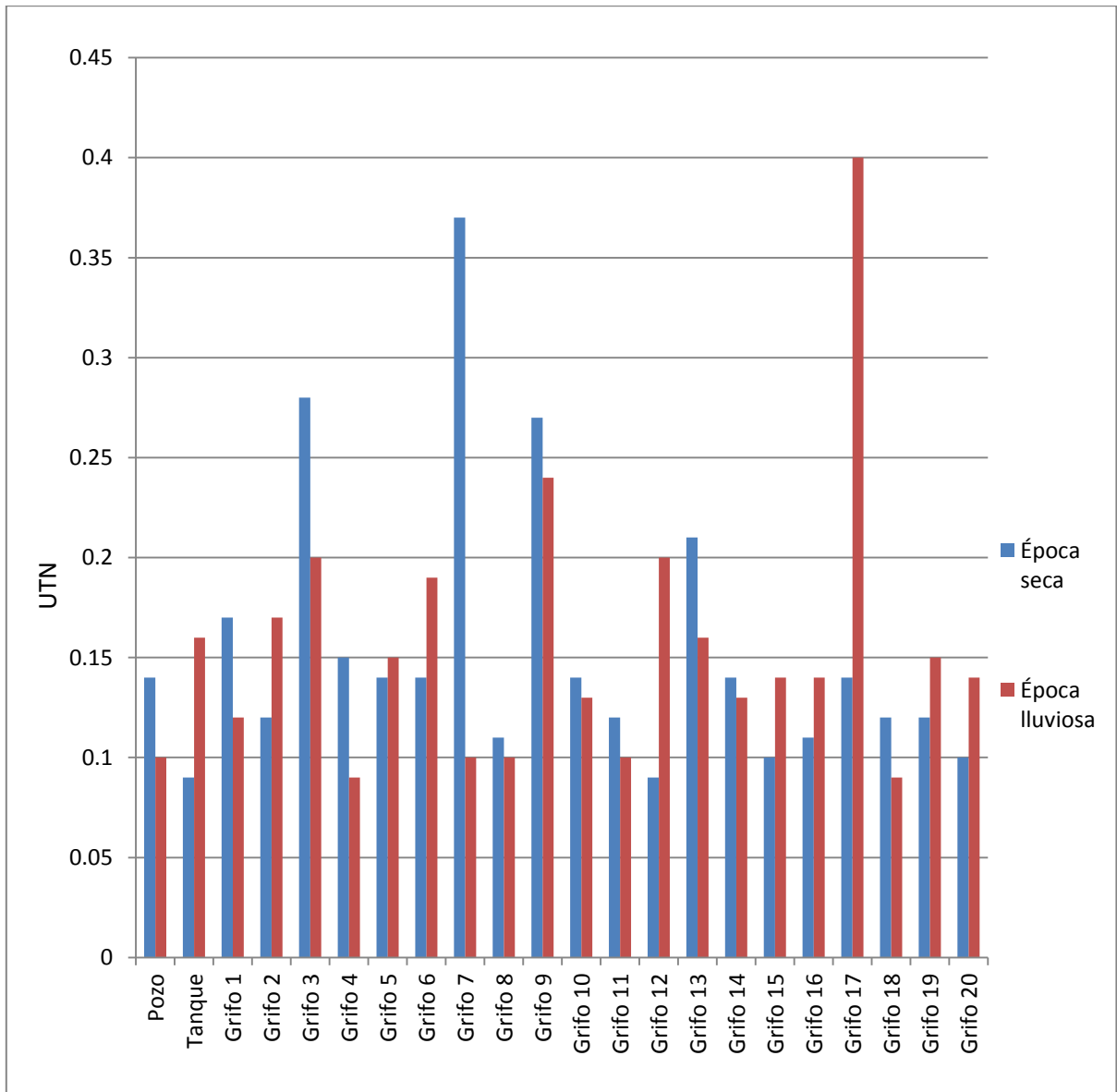
**Gráfica No.3**  
**Análisis Físicoquímico de Sólidos Totales Disueltos (STD)**



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

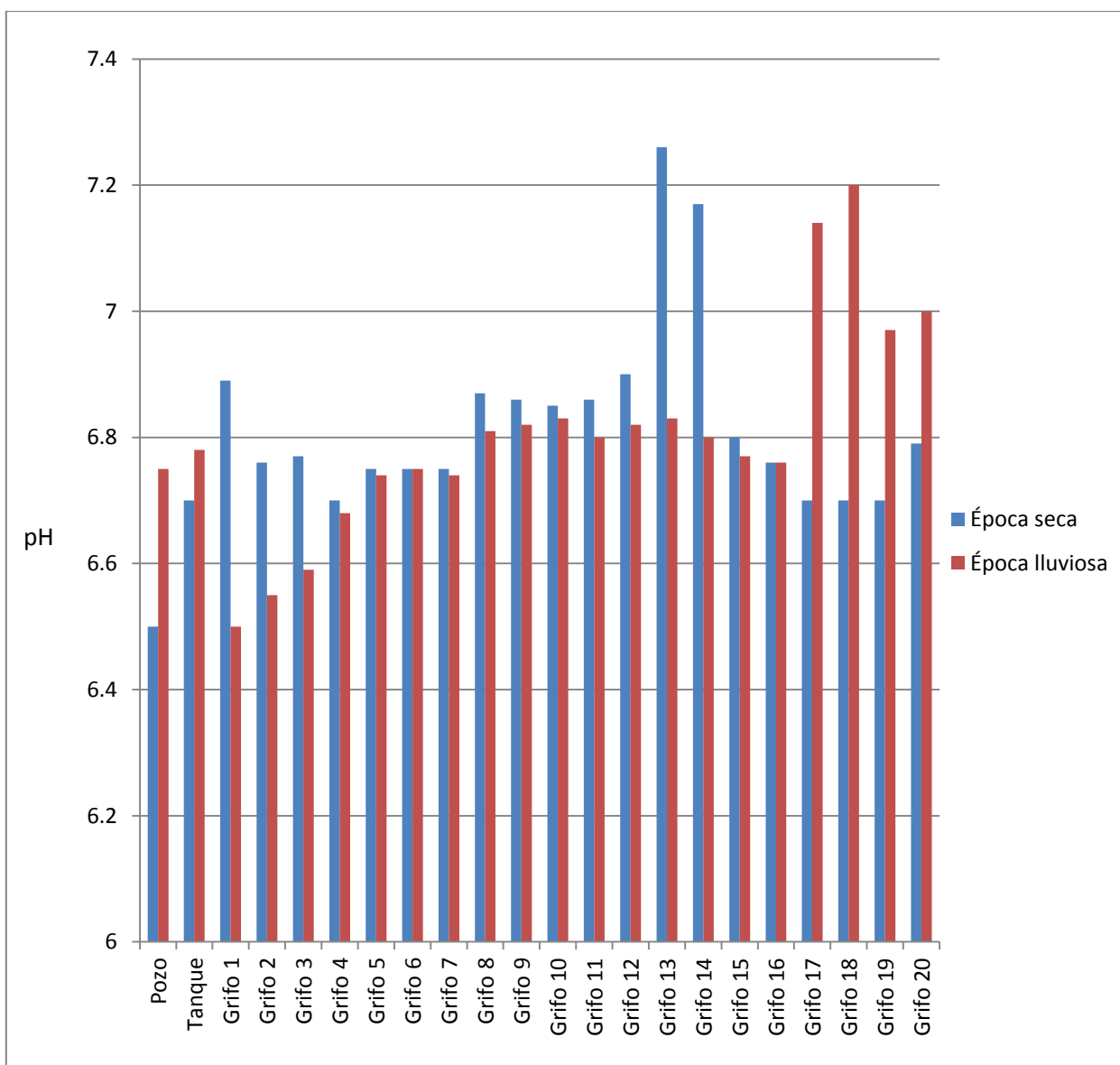
Gráfica No. 4

## Análisis fisicoquímico de Turbidez (Unidades de Turbidez Nefelométricas, UTN)



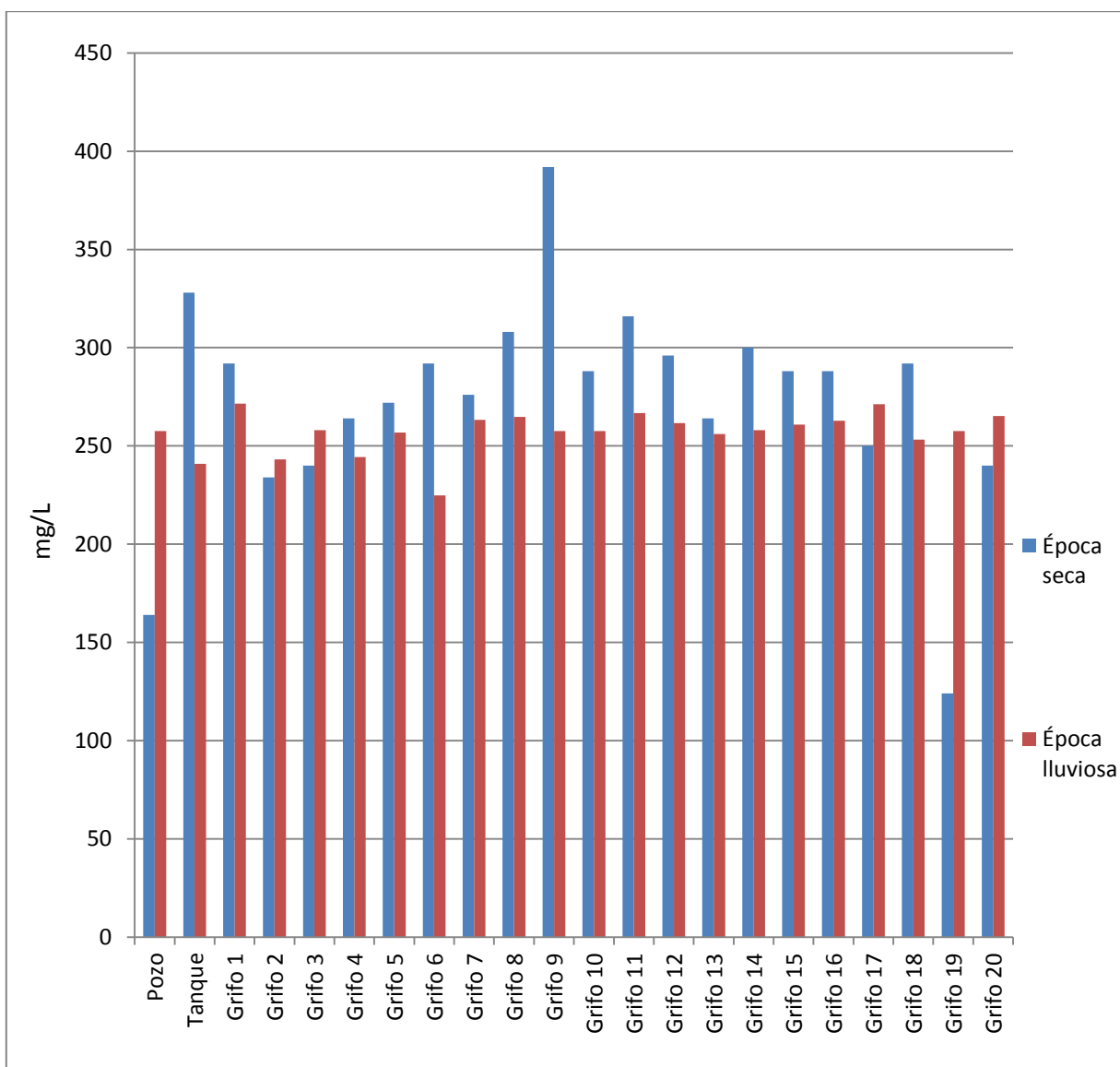
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No.5**  
**Análisis Físicoquímico de Potencial de Hidrógeno (pH)**



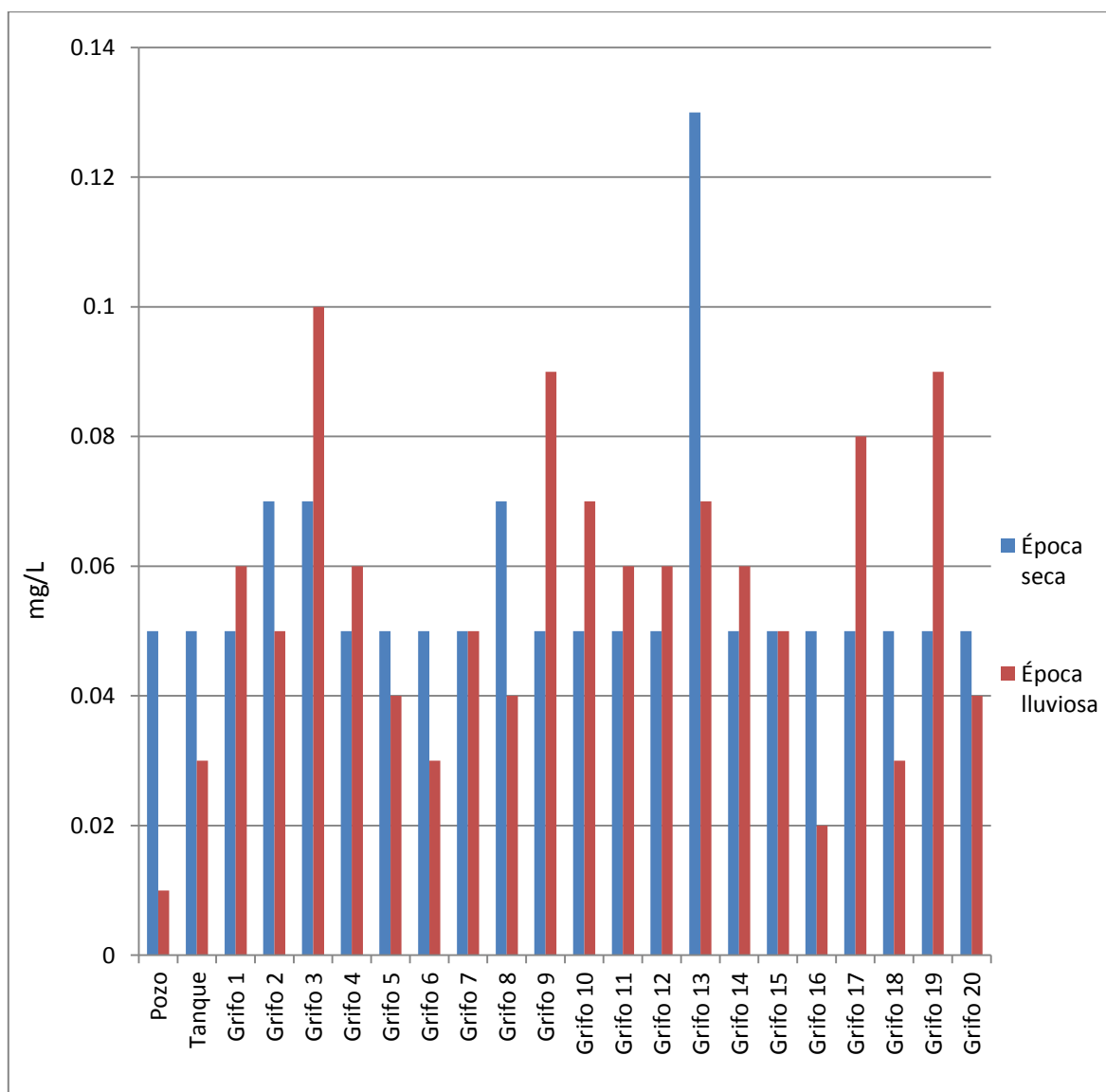
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

Gráfica No.6  
Análisis Físicoquímico de Dureza Total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)



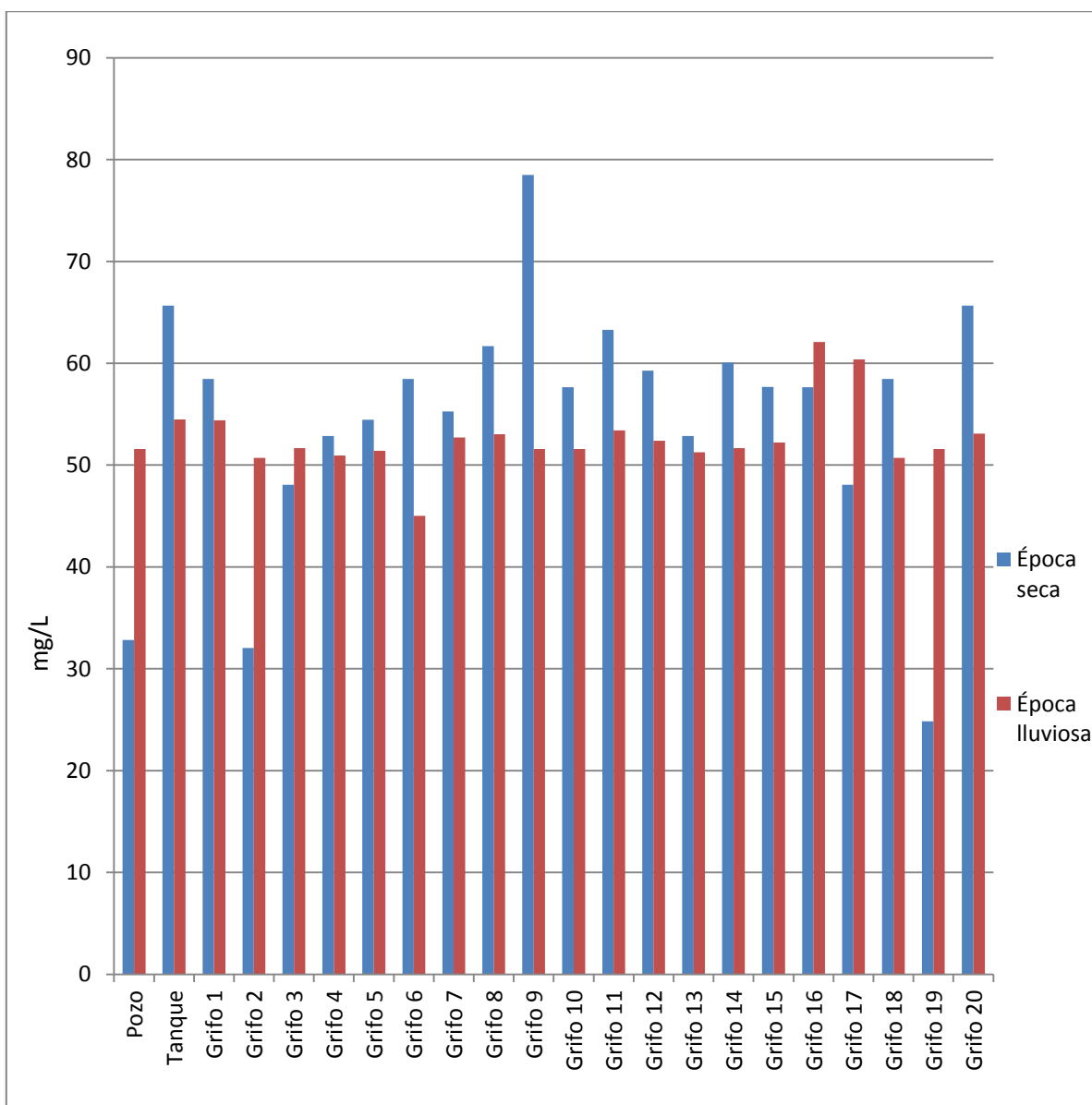
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No. 7**  
**Análisis Fisicoquímico de Hierro Total (mg/L)**



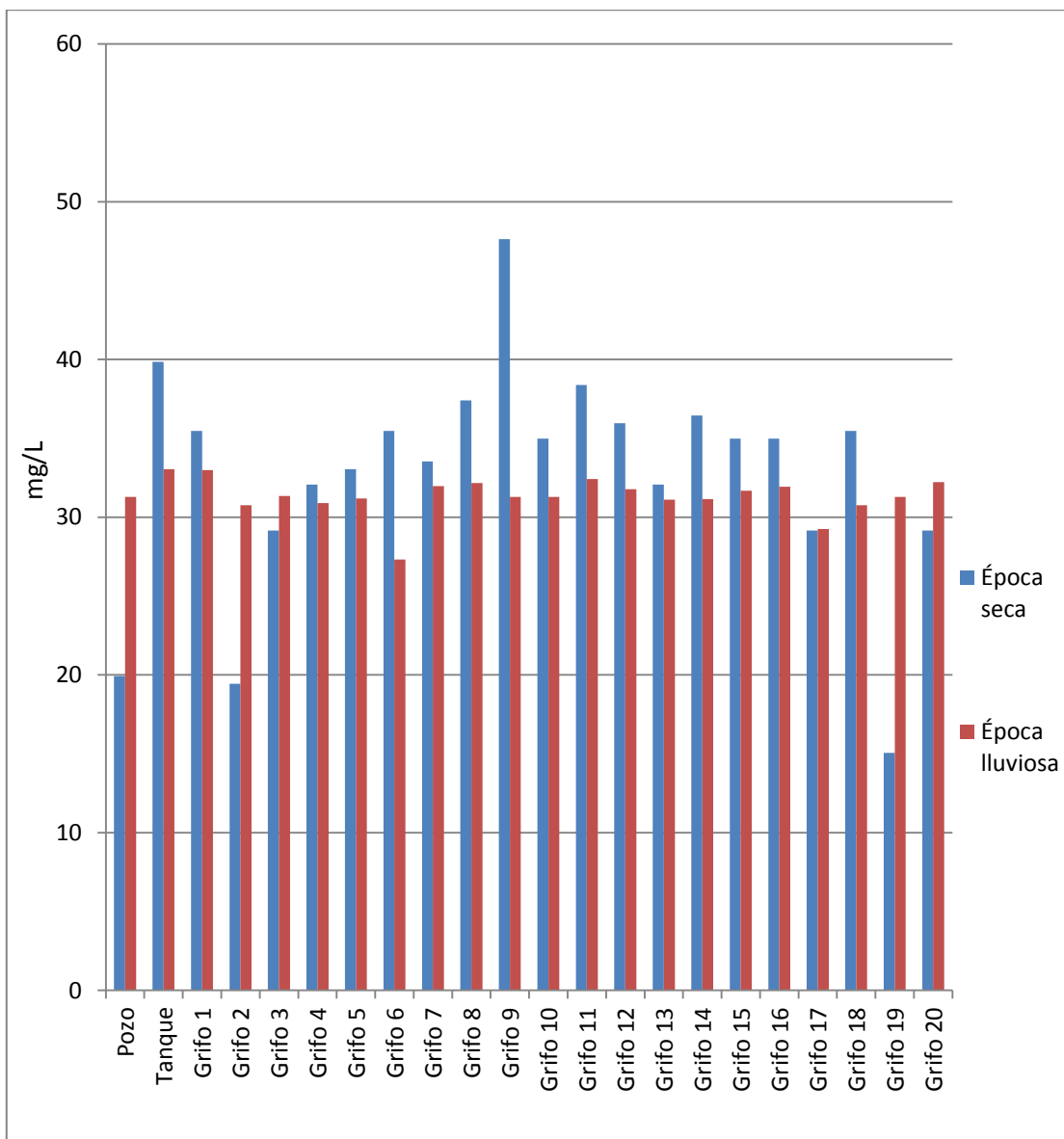
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No.8**  
**Análisis Físicoquímico de Calcio (mg/L)**



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

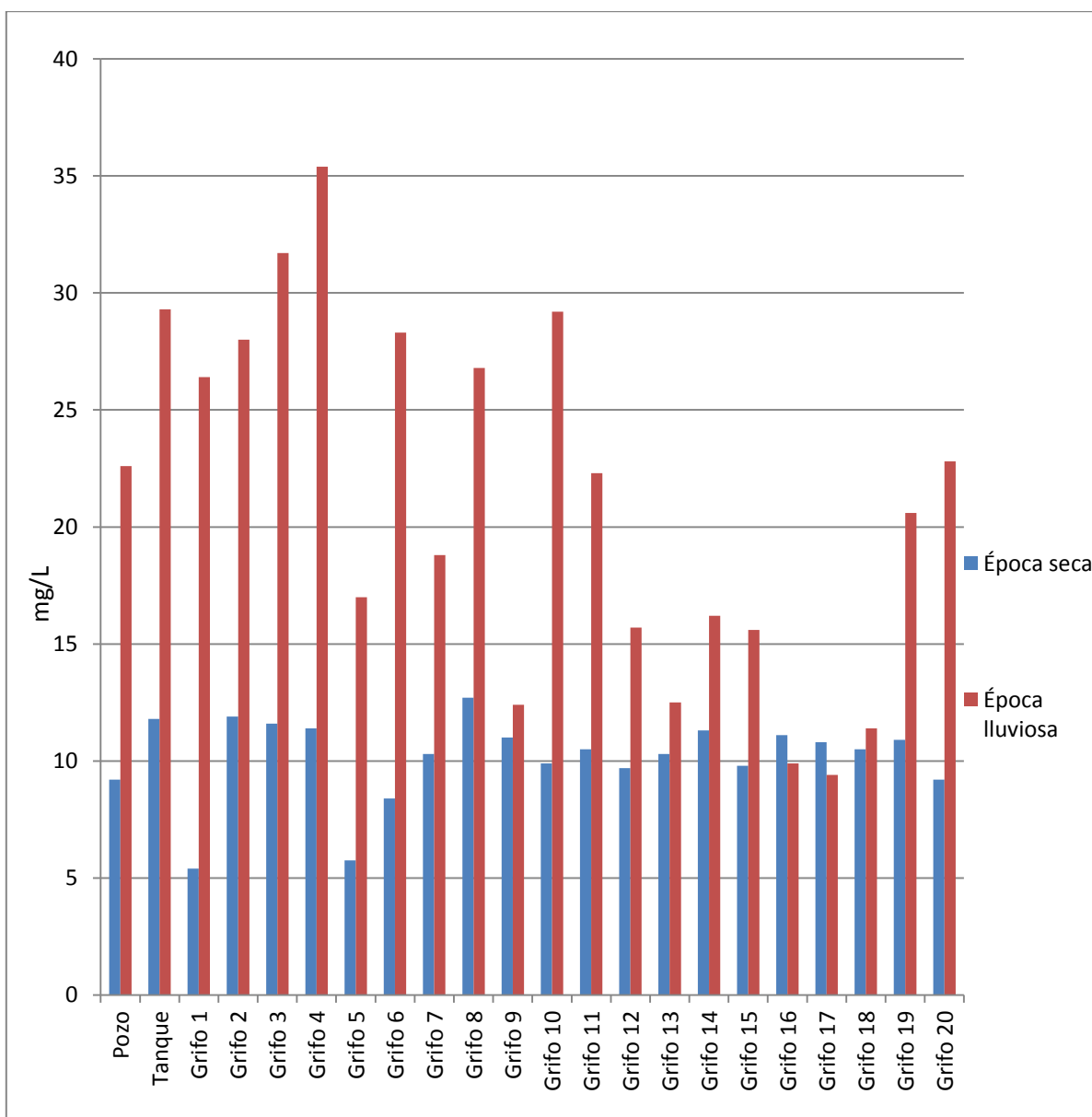
**Gráfica No.9**  
**Análisis Físicoquímico de Magnesio (mg/L)**



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

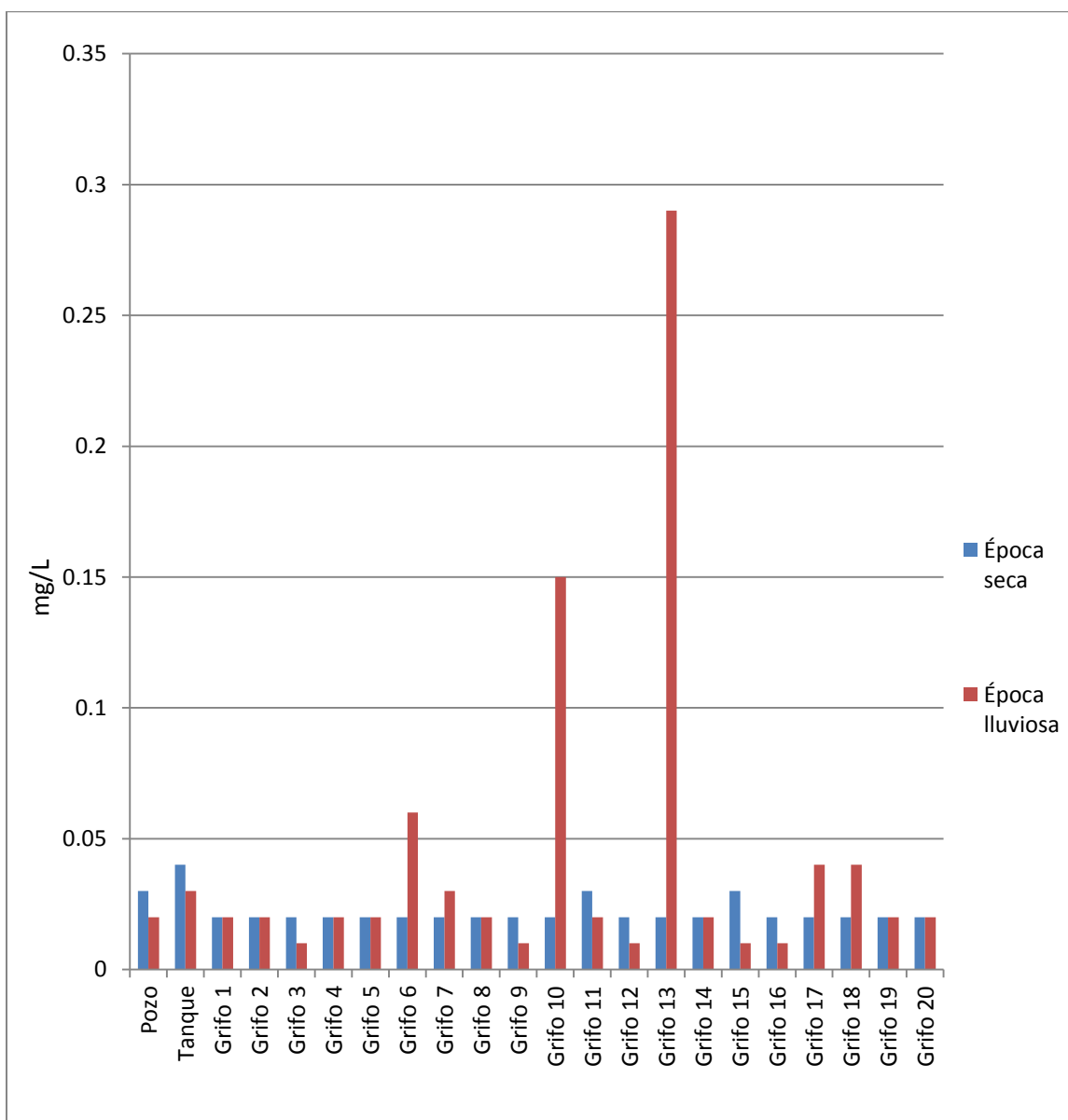


**Gráfica No. 10**  
**Análisis Físicoquímico de Nitratos (mg/L)**



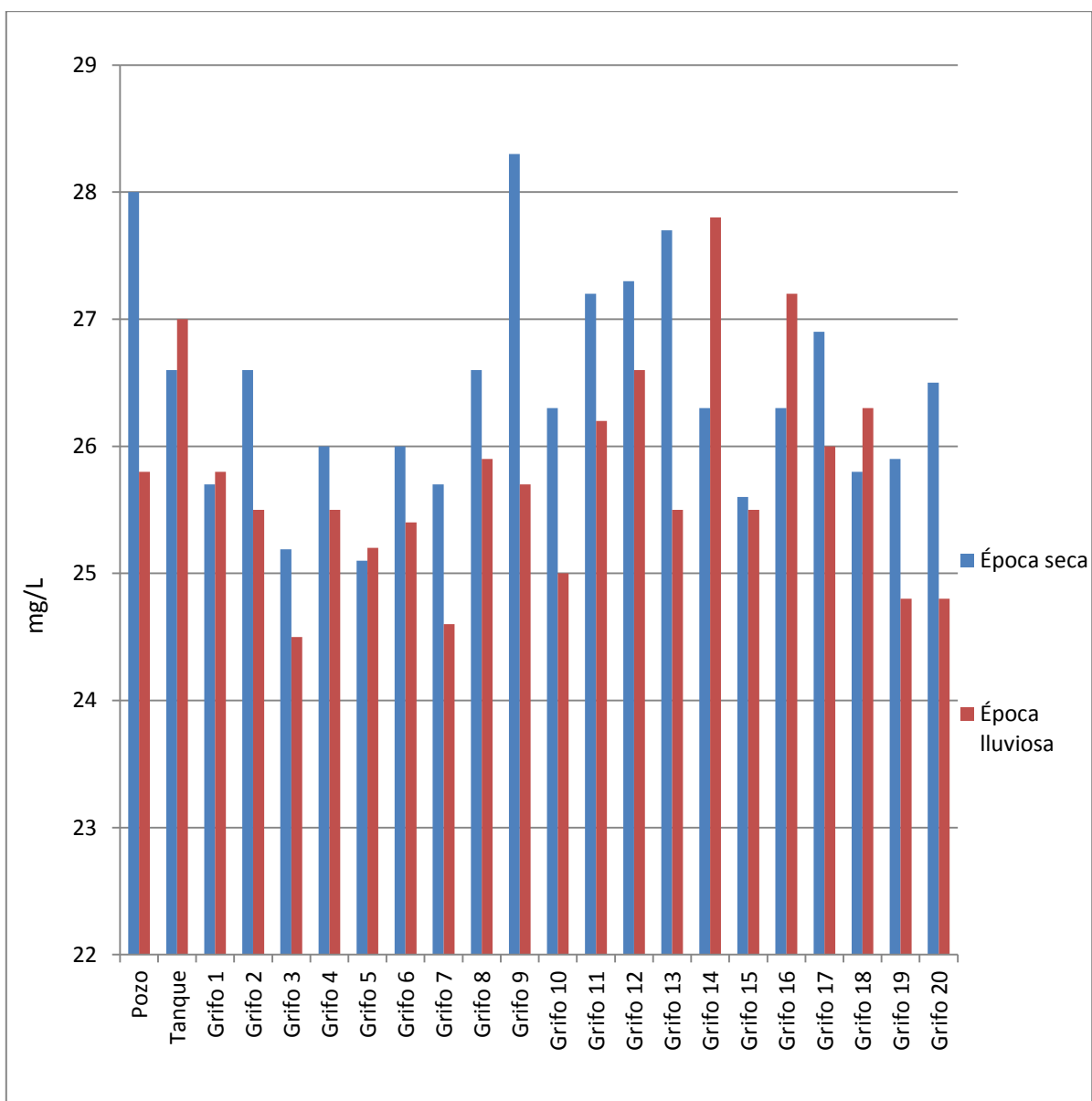
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No.11**  
**Análisis Físicoquímico de Nitritos (mg/L)**



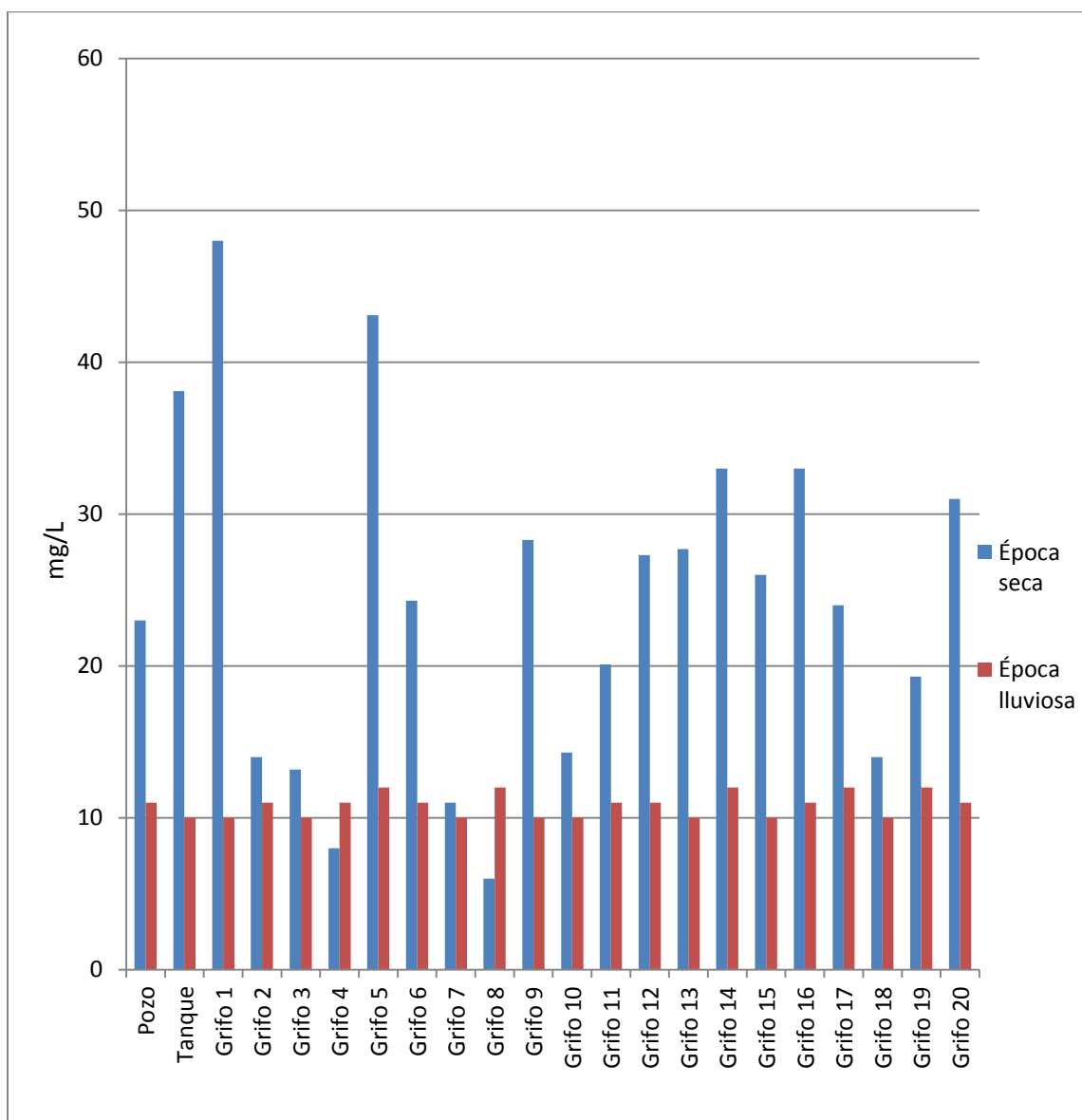
Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos

**Gráfica No. 12**  
**Análisis Físicoquímico de Cloruros (mg/L)**



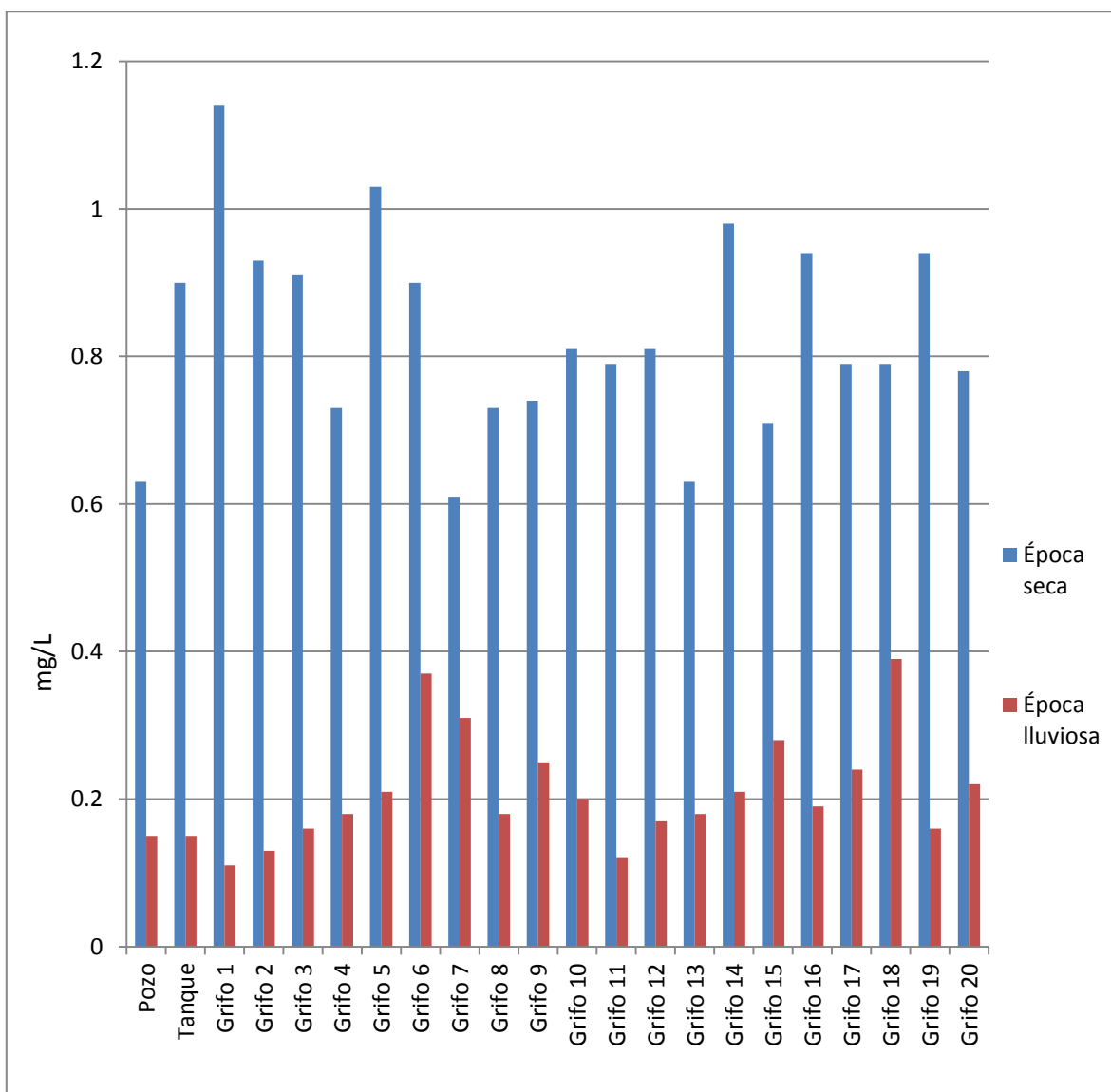
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No. 13**  
**Análisis Físicoquímico de Sulfatos (mg/L)**



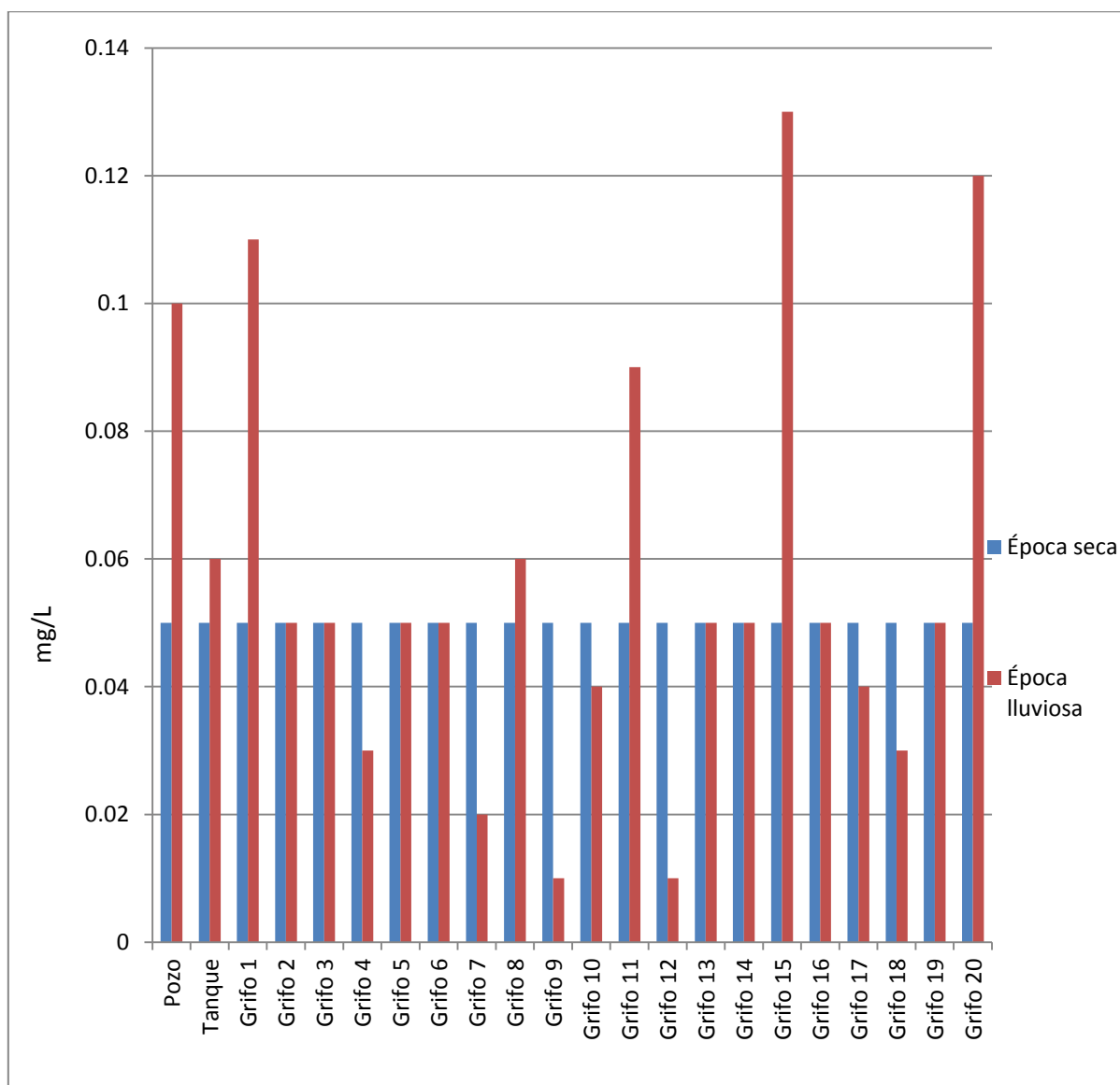
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No.14**  
**Análisis Fisicoquímico de Zinc (mg/L)**



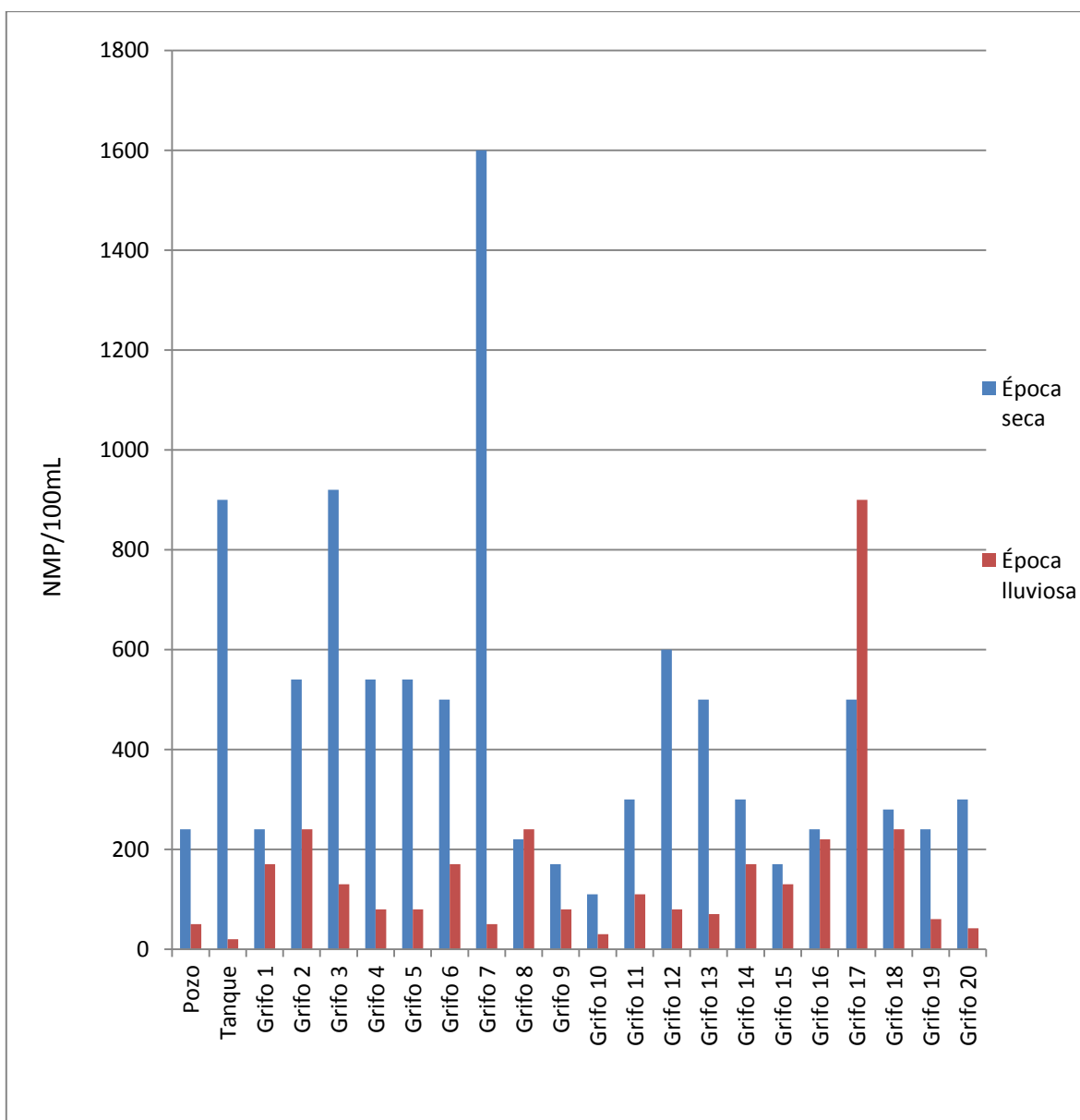
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No. 15**  
**Análisis Físicoquímico de Cobre (mg/L)**



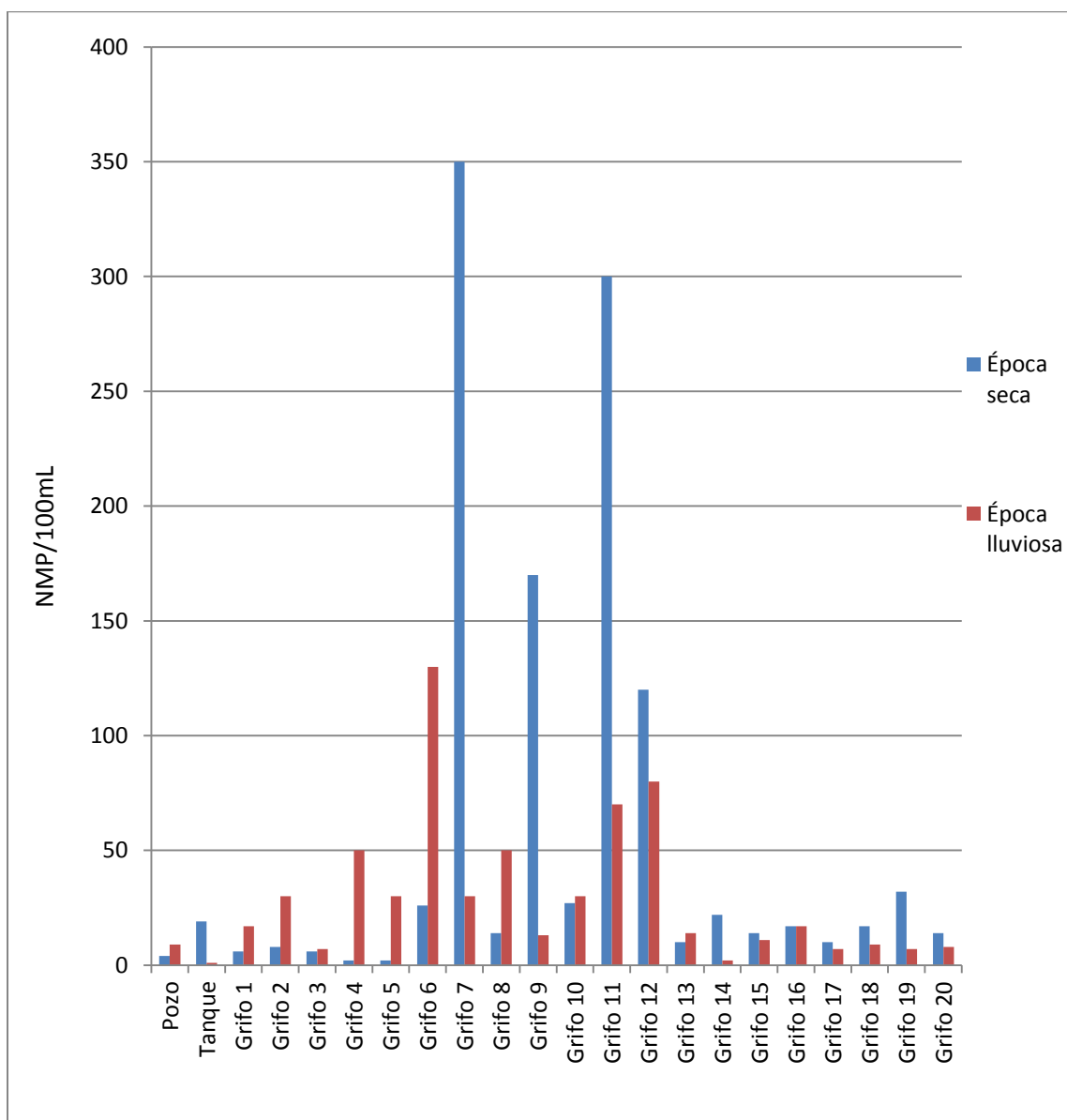
Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

**Gráfica No. 16**  
**Análisis Microbiológico de Coliformes totales (NMP/100mL)**



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Gráfica No. 17**  
**Análisis microbiológico de *Escherichia coli* (NMP/100mL)**

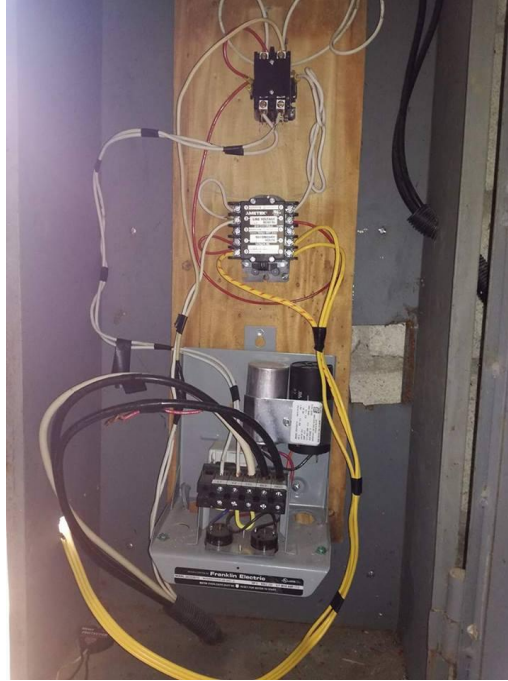


Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio de control microbiológico de alimentos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.



#### Anexo No.4 Fotografías del Pozo y Tanque de distribución

- a- Sistema eléctrico del pozo con el que se controlan los tiempos de llenado del tanque de distribución



- b- Pozo y tubería que lleva el agua al tanque de distribución



- c- En el primer nivel se encuentra la bodega de almacenamiento para equipo de mantenimiento del servicio de agua y el segundo nivel es el tanque de distribución



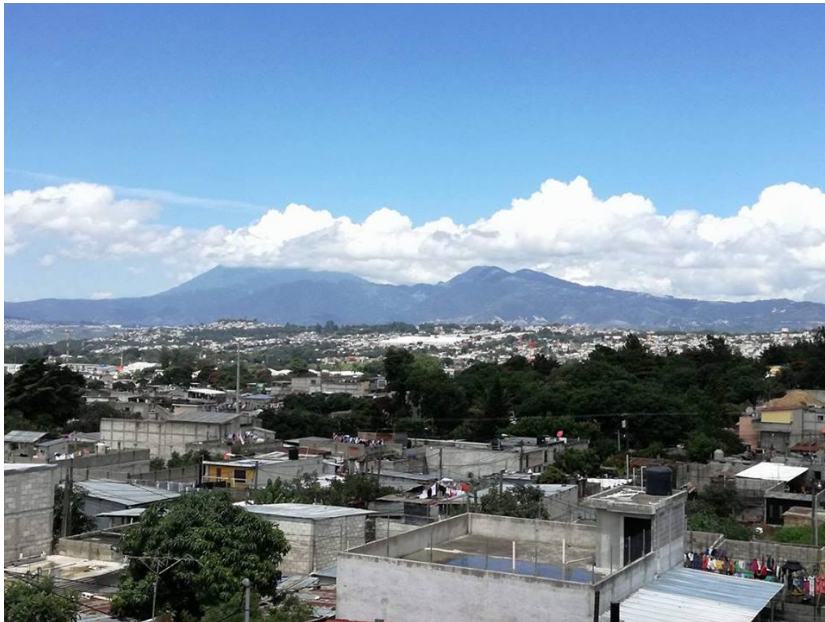
- d- Tanque previo a lavado y desinfección donde se ve agua sucia y sedimento de arena



- e- Tanque después de desinfección y lavado donde ya se ven todas las superficies sin residuos ni suciedad



- f- Colonia “Los Ángeles”, Zona 2 Boca del Monte, Villa Canales (Vista desde el tanque de distribución)



## **Anexo No.5**

### **Informe entregado a la administración del servicio de agua de colonia “Los Ángeles” Zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales**

Guatemala, Septiembre 2017

#### **Administración del servicio de agua**

#### **Colonia “Los Ángeles” Zona 2**

#### **Boca del Monte, Villa Canales**

Señores, reciban un cordial saludo deseando éxitos en sus actividades. Como tesista de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a continuación un informe del estudio realizado en el servicio de agua que distribuye a la población de la zona 2 Boca del Monte.

Se realizó un análisis de la potabilidad de agua donde las características fisicoquímicas de color, olor, turbidez, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos, magnesio, manganeso, hierro total, calcio, dureza total, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, zinc y cobre, sí cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001 para agua potable en Guatemala, sin embargo, los análisis microbiológicos de coliformes totales y *Escherichia coli* dieron positivos para todas las muestras analizadas. Para llevar a cabo el proceso y análisis se tomó una muestra de agua del pozo, una del tanque de recolección y distribución y en 20 viviendas que reciben el servicio; este proceso se llevó a cabo en época seca y en época lluviosa respectivamente, para analizar un total de 44 muestras. En ambas fases la calidad fisicoquímica del agua se mantuvo dentro de los límites que exige la norma COGUANOR NGT 29001.

El primer muestreo se llevó a cabo en época seca en el mes de mayo 2017, donde el tanque de distribución tenía 2 meses sin ser lavado y desinfectado, por esta razón la cantidad de contaminación microbiológica fue elevada; se encontró una capa de sedimento muy gruesa en todo el tanque. El segundo muestro se llevó a cabo en época lluviosa en el mes de agosto 2017 donde se esperaba que la contaminación microbiológica aumentara, debido a que las lluvias aumentan la filtración de agua y contaminantes en las capas de la tierra contaminado así, el agua de la Napa Freática que es la que se extrae en el pozo para servicio de agua potable, sin embargo, se pudo observar que la contaminación o concentración bacteriológica de coliformes totales y



*Escherichia coli*, disminuyeron en esta época, la razón es que 15 días antes de realizar el muestreo y análisis se llevó a cabo la desinfección y lavado del tanque de recolección y distribución de agua. Con estos resultados se puede concluir que la calidad bacteriológica del agua puede mejorar si se tiene una programación de fechas para realizar lavados y desinfección respectivos. Se pudo observar que en el fondo del pozo donde se extrae el agua, hay un movimiento grande de arena la cual se está filtrando a las tuberías que llevan el agua al tanque y también que el rompe olas dentro del tanque está botando arena, esto puede dar origen a contaminación fisicoquímica y principalmente contaminación bacteriana. Por tal razón se recomienda realizar un mantenimiento de albañilería a todas las superficies internas del tanque para que no desprendan ningún material y así evitar la contaminación del agua, también se recomienda realizar desinfección y lavado del tanque una vez al mes para mantener las propiedades y la calidad del agua y así, evitar sedimentos dentro del tanque que puedan filtrarse a las tuberías que llevan el agua a los domicilios. Cuando se realizó el primer muestreo donde se tenían dos meses de haber realizado desinfección y lavado, se encontró una contaminación alta de arena y esto aumento la cantidad de microorganismos por tal razón se recomienda realizar lavado una vez al mes para asegurarse de mantener el agua en condiciones adecuadas.

A continuación se deja una programación para desinfección y lavado del tanque para lo que queda del año 2017 y 2018 siendo durante la última semana de cada mes en la cual se debe suspender el servicio de agua solamente por un día:

- 28-29 octubre 2017
- 29-30 noviembre 2017
- 29-30 diciembre 2017
- 27-28 enero 2018
- 27-28 febrero 2018
- 30-31 marzo 2018
- 28-29 abril 2018
- 30-31 mayo 2018
- 28-29 junio 2018
- 28-29 julio 2018
- 30-31 agosto 2018
- 29-30 septiembre 2018
- 28-29 octubre 2018
- 29-30 noviembre 2018
- 29-30 diciembre 2018

**Materiales y equipo para lavado del tanque:**

- 2 cubetas con capacidad de 5 galones
- 2 escobas
- 2 kilos de detergente industrial que no forma espuma
- 2 recipientes pequeños (1L)
- Cloro comercial al 5% diluido a 0.5%
- 1 escalera
- 2 lazos
- 1 tonel
- Probeta de 3L
- Mascarillas
- Guantes
- Botas de hule
- Lentes de protección
- Cascos
- Tapones para oídos

**Cálculo para la mezcla de cloro al 0.5%:**

El cloro que se utiliza para lavar el tanque de distribución es al 0.5%. Como el cloro comercial tiene una concentración de 5% hay que hacer una dilución para llegar a la concentración deseada. Durante proceso se utilizaron 2 litros de cloro por metro cúbico que tiene el tanque (43.5 metros cúbicos), haciendo un total de 87 litros de cloro al 0.5%.

Para hacer la solución de cloro deben seguirse los siguientes pasos:

- Agregar al tonel 8.7 litros de cloro comercial al 5% medidos con bureta de 3L
- Agregar 78.3 litros de agua. Para realizar esta cantidad, se deben agregar 4 cubetas de agua (19 litros/1 cubeta). La solución llegará a un total de 87 litros aproximadamente.

**Proceso de desinfección y lavado del tanque de distribución:**

1. Subir todo el material y equipo de protección a la superficie del tanque.
2. Abrir las 2 compuertas de acceso al tanque.
3. Colocar la escalera dentro del tanque para poder ingresar.
4. Colocarse todo el equipo de protección antes de ingresar.
5. 2 personas son las que tienen que entrar para colocarse una de cada lado del tanque que está dividido por el rompe olas.

6. Con las escobas mover el agua estancada y el sedimento que se encuentre a la tubería de salida conectada a un drenaje, usada exclusivamente para el lavado del tanque (deben cerrarse las llaves de paso de agua para los domicilios).
7. Realizar una mezcla de detergente industrial (no forma espuma) de 1 kilo en 5 galones de agua. Se debe agregar 1 kilo de detergente en la cubeta, el cual ya viene pesado en esa cantidad, pidiéndolo así en la empresa que lo provee, luego llenar la cubeta con agua y mezclar. Se deben mezclar 2 kilos, 1 en cada cubeta para cada lado del rompeolas en el interior del tanque de distribución.
8. Proceder a lavar con esta mezcla utilizando escobas; el proceso de lavado de arriba hacia abajo, empezando por el techo, paredes y por último el piso. Luego de esto abrir la llave de entrada de agua al tanque para obtener una cantidad suficiente para lavar y eliminar todos los residuos.
9. El agua de enjuague se recibe en el tonel y se riega en las superficies con los recipientes de 1 litro de capacidad.
10. En el tonel realizar la solución de 87 litros de cloro al 0.5%, como se especificó anteriormente.
11. Abrir nuevamente la llave de entrada del agua para obtener una cantidad suficiente de la misma y eliminar todo el cloro por la tubería de salida al drenaje.
12. Retirar todo el material del interior del tanque y bajar todos los materiales y equipos a la bodega de almacén donde permanecerá todo guardado hasta cuando se tenga programado otro lavado y desinfección. El material y equipo es exclusivo para este proceso.

A pesar de que la calidad fisicoquímica del agua es buena hay contaminación bacteriológica, que si disminuyo con el lavado y desinfección, a pesar de esto es evidente que se necesita desinfección diaria del agua para poder tener agua potable apta para el consumo de la población. Por esto se recomienda desinfección con cloro; se deberá poner una llave de paso en la tubería que va del pozo al tanque en la cual se colocará una salida con un tubo "T" y su tapa con rosca respectiva, para poder agregar diariamente la cantidad de cloro necesaria que exige la norma COGUANOR NGT 29001.

El proceso de llenado del tanque es de 10am a 6am del siguiente día. De 6am a 10am es cuando se abren las llaves que llevan el agua a los diferentes domicilios de la colonia. Por tal razón se recomienda agregar el cloro cuando el tanque se empieza a llenar (10am) para que el agua que se recolecta durante el día tenga la cantidad de cloro necesaria para evitar contaminación microbiológica, se mantenga la calidad del agua y llegue a la población con la concentración de cloro adecuada.

#### **Proceso de desinfección de agua potable con Hipoclorito de Sodio:**

Para desinfectar agua con hipoclorito de sodio (Cloro líquido) se debe primero filtrar el agua para eliminar turbidez, pero como el agua tiene una excelente calidad fisicoquímica y cumple con la turbidez según la norma COGUANOR NGT 29001, no debe filtrarse. El hipoclorito de sodio es la sustancia más fácil de dosificar y es un método muy cómodo y económico para utilizar en servicios de agua potable. Las concentraciones de este compuesto para que se mantenga la calidad fisicoquímica y microbiológica deben estar entre 0.5% y 10% según la turbidez del agua. Entre mayor sea la turbidez se deberá aumentar la concentración de cloro.

La concentración ideal debe estar entre 1mg/L y 5mg/L y la dosis consistirá según la claridad y turbidez del agua; para el servicio de agua de la colonia los “Ángeles” se recomienda mantener una concentración de 1mg/L y eso va a asegurar que se mantenga la calidad del agua y se elimine toda contaminación microbiológica ya que el agua es clara y sin turbidez, la concentración de hipoclorito de sodio no debe ser alta.

El tanque tiene un volumen de 43.5m<sup>3</sup> lo que equivale a 217 toneles (43,716 Litros), el hipoclorito de sodio para desinfección de agua tiene una concentración de 7.5mg/mL, la concentración deseada es de 1mg/L para lo que el cálculo de cantidad de cloro líquido a agregar por volumen de tanque es la siguiente:

Vol. Cloro = (Volumen en Litros del tanque X Concentración de cloro deseada) / (Concentración de cloro líquido X 10)

Vol. Cloro = (43,716L X 1mg/L) / (7.5mg/mL X 10) = 582.88mL = 0.58L

Fuente: AQUAQUIM. (2017). Métodos para desinfección de agua potable. Lima, Perú. Recuperado de:  
<http://www.aquaquimi.com/Paginas/Empresa/empresa.html>



Entonces se deben agregar en la llave de paso que va del pozo al tanque 583mL de Hipoclorito de sodio al 7.5% para mantener una concentración de cloro de 1mg/L. realizando este procedimiento a las 10am cuando el tanque empieza a llenarse. Para llevar a cabo el proceso debe medirse en una probeta de 1L y utilizar equipo de protección necesario como lentes, guantes y mascarilla.

### Esquema No.1

#### Adaptación a la tubería para el proceso de Cloración del agua



- La llave de pozo y de tanque deben cerrarse.
- Se quita la tapa del tubo de salida para agregar el cloro líquido.
- Agregar 0.58L de cloro líquido medidos en probeta de 1L y agregarlos a la tubería.
- Encender la bomba y abrir primero la llave del tanque y luego la llave del pozo para que el tanque de distribución empiece a llenarse ya con la cantidad de cloro necesaria para mantener las concentraciones ideales.

Guatemala 29 de Septiembre de 2017

A quien corresponda:


Por medio de la presente hago constar que el estudiante y tesista Ludwin Oswaldo Barahona Santos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó un análisis de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de pozo que distribuye a la Colonia los Ángeles Zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala. El servicio de agua potable "Los Ángeles" es propiedad de la familia Barahona por lo que se dio la oportunidad al estudiante ya mencionado, realizar su proyecto de tesis y a la vez poder mejorar el servicio de agua, tomando las acciones respectivas dependiendo de los resultados obtenidos en dicho estudio.

Se llevó a cabo una capacitación al personal de mantenimiento por parte del estudiante, sobre la forma adecuada de la limpieza y sanitización del tanque de distribución de agua y se recibió en la administración del servicio, un informe detallado con los resultados del estudio, así como las recomendaciones respectivas para el mantenimiento y cuidado del servicio, para poder mejorar la calidad del agua que se distribuye a la población.

Atentamente



Gelber Neftalí Barahona Barillas  
Propietario del Servicio de agua "Los Ángeles"  
52376500/55769558



---

Br. Ludwin Oswaldo Barahona Santos

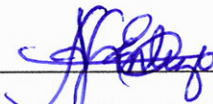
Autor



---

Licda. Julia Amparo García Bolaños

Asesora



---

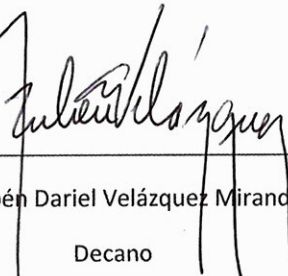
Licda. Aylin Evelyn Santizo Juárez

Revisora



---

Licda. Raquel Azucena Pérez Obregón  
Directora de Escuela de Química Farmacéutica



---

Dr. Rubén Daríel Velázquez Miranda

Decano