

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



Jonathan Antonio Roblero Albisures

Químico Biólogo

Guatemala, Marzo de 2022

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

Calidad microbiológica y concentración de cloro residual libre y total de agua potable en tanques de abastecimiento y distribución en la cabecera departamental de San Marcos, utilizando como indicadores de contaminación: Coliformes Totales y *Escherichia coli*

Informe de Tesis

Presentado por

Jonathan Antonio Roblero Albisures

Para optar al título de
Químico Biólogo

Guatemala, Marzo de 2022

JUNTA DIRECTIVA

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal Primero
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal Segundo
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal Tercero
Br. Carmen Amalia Rodríguez Ortiz	Vocal Cuarto
Br. Paola Margarita Gaitán Valladares	Vocal Quinto

ACTO QUE DEDICO

A DIOS: *Ut in omnibus glorificetur Deus*

A MIS PADRES: Darinel Arcángel Roblero y Roblero y Myra Jeannette Albisures Hernández, por ser pilar fundamental en mi vida; a través de su amor, sacrificio y entrega, permitieron que esta meta se hiciera realidad, los amo.

A MIS HERMANAS: Julia y Heydi Roblero, por ser mis dos grandes amores, agradezco su paciencia, cariño y comprensión; gracias, por tanto.

A MI SOBRINO: Dylan André Aguilar Roblero, por ser nuestra mayor bendición en el hogar.

A MIS ABUELOS: María Adelaida Hernandez, José Antonio Albisures, Julia de Roblero y Jonatán Roblero, por estar siempre pendiente de mí, agradezco su amor brindado, consejos y todo el apoyo otorgado a lo largo de mi vida.

A MIS TÍAS Y TÍOS: Sandra, Verónica, Nidia, Walter, Hector Albisures, Byron, Jonatán y Edda Roblero, por estar siempre a mi lado, demostrando su apoyo y amor incondicional.

A TODA MI FAMILIA: por sus muestras de cariño.

A MIS AMIGOS: Handy, Lesly, Nalu, Dili, Edson, Andrés, Brian, José Manuel, Oscar, Cindi, Danilo, Ivann, Byron y Juan Antonio, gracias por todos los buenos momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser fuente de inspiración y guiarme en mi caminar, por ser el apoyo y fortaleza en los momentos de dificultad.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, por permitirme estudiar y formarme como profesional.

A mi asesor de investigación, MSc. Sergio Lickes, por todo el apoyo, conocimiento y tiempo proporcionado, durante el proceso de investigación.

A mi asesor estadístico, Dr. Jorge Luis de León, por el aporte de sus conocimientos a lo largo del proyecto de investigación.

A mi revisora, PhD. Karin Larissa Herrera, por la colaboración, consejos y transmisión de sus conocimientos a lo largo de esta investigación.

A mis catedráticas: MSc. María del Carmen Bran y MSc. Karla Lange, por su apoyo, y motivación para poder realizar y concluir este proyecto.

Al Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR-, por el apoyo brindado durante todas las fases de muestreo, realizadas en este estudio.

A la Municipalidad de San Marcos y Empresa Municipal de Agua, por las facilidades otorgadas en los lugares de muestreo.

A mis catedráticos, muy agradecido por la transmisión de todos sus conocimientos.

A todos aquellos que de una u otra forma colaboraron con mi trabajo e hicieron posible que se llevara a cabo.

ÍNDICE

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. ANTECEDENTES.....	3
A. Generalidades del agua.....	3
1. Usos del agua	4
a. Uso consuntivo.....	4
b. Uso no consuntivo.....	4
2. Tipos de agua	5
3. Calidad del agua en Guatemala.....	6
4. Contaminación del agua.....	8
B. Principales microorganismos transmitidos por agua.....	9
1. Bacterias.....	10
2. Virus.....	11
3. Parásitos	11
4. Coliformes totales	12
5. <i>Escherichia coli</i>	12
C. Enfermedades transmitidas por agua en el país.....	12
D. Norma COGUANOR NTG 29001	13
1. Análisis físico.....	15
a. Color.....	15
b. Olor	15
c. Temperatura.	15
d. Turbidez.	15
e. Conductividad eléctrica.....	15
f. pH.....	15
2. Análisis químico.....	16
a. Cloruro.	16
3. Análisis Microbiológico.....	17
a. Muestreo.....	17
b. Acondicionado y transporte de la muestra	18
E. Métodos de análisis microbiológico para agua	19
1. Tubos Múltiples	19
F. Procedimientos para tratar agua contaminada.....	20
G. Generalidades del lugar de muestreo.....	20
1. Ubicación Geográfica.....	21

2.	Hidrografía y calidad de agua en San Marcos.....	22
H.	Estudios realizados.....	24
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	26
V.	OBJETIVOS.....	27
VI.	HIPÓTESIS.....	28
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
VIII.	RESULTADOS.....	34
IX.	DISCUSIÓN.....	42
X.	CONCLUSIONES.....	49
XI.	RECOMENDACIONES.....	50
XII.	REFERENCIAS.....	51
XIII.	ANEXOS.....	59

I. RESUMEN

Este estudio se enfocó en el análisis de muestras de agua, proveniente de 5 pozos, 2 tanques de abastecimiento/distribución y 20 casas de la red de distribución domiciliar, en la cabecera departamental de San Marcos. Se evaluó la calidad microbiológica, por medio de la identificación y cuantificación de Coliformes Totales y *Escherichia coli*, y la evaluación fisicoquímica de agua, por mediciones en la concentración de cloro residual total y libre. Esto con el objetivo de verificar que los parámetros antes mencionados, se encontraran dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013; dicha norma establece las características que definen la calidad de agua para consumo humano en Guatemala.

El muestreo se realizó utilizando un estudio descriptivo, aleatorio estratificado. Para el análisis microbiológico, se utilizó la metodología de tubos múltiples, reportándose en número más probable en 100 mililitros. En el análisis de cloro residual total y libre, se empleó el método fisicoquímico y colorimétrico dietil-p-fenilen-diamina (DPD), proporcionando la concentración de cloro en mg/L.

El 100% de las muestras analizadas provenientes de pozos y tanques, presentaron ausencia de Coliformes Totales y *E. coli*, en el caso de la red domiciliar, se determinó que el 99.9% de las muestras cumplían con los parámetros microbiológicos establecidos por la norma, mediante un tratamiento estadístico de test binomial de probabilidades asociado con valores pequeños. En los tanques de distribución, el 100% de muestras presentaron concentraciones de cloro residual elevado y en la red domiciliar, solo el 75% de muestras lo cumplió para la época seca, mientras que en la época lluviosa únicamente el 70%.

Con los resultados se concluye, que el agua suministrada en la cabecera departamental de San Marcos, es apta para consumo humano; a pesar que existe concentraciones elevadas de cloro residual en los tanques, como concentraciones de cloro residual libre en la red domiciliar, que están por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA) establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 del 2013, los pozos y tanques cumplen al 100% los parámetros microbiológicos de la norma y la red domiciliar presenta una calidad microbiológica del 99.9%.

II. INTRODUCCIÓN

El término “calidad del agua” está relacionado con aquellas características físicas, químicas y biológicas, por medio de las cuales puede evaluarse si el agua es apta o no para el consumo humano. El mejor sistema para garantizar la seguridad del agua de consumo, es una gestión integrada y preventiva, en la que colaboren todos los organismos pertinentes. El acceso al agua potable es un derecho fundamental. Sin acceso al agua no hay vida, sin acceso al agua potable no hay existencia a salvo de la enfermedad (OMS, 2006).

La calidad del agua potable es una cuestión que afecta países en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población que puede ser por agentes infecciosos, productos químicos tóxicos, contaminación radiológica, etc. La experiencia pone de manifiesto el valor de los enfoques de gestión preventivos que abarcan desde los recursos hídricos al consumidor (Saravia, 2007).

La OMS emitió recomendaciones para la calidad bacteriológica de agua potable en 1993. Estas directrices se enmarcan dentro de nuevos criterios de contaminación, según los cuales los organismos coliformes se analizan solo como señalizadores de la eficacia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución, no como indicadores de la presencia de patógenos, mientras que los organismos coliformes termotolerantes, como *E. coli* se analizan como indicadores de contaminación fecal (OMS, 2006).

La contaminación de los recursos de agua en Guatemala representa un gran problema y el departamento de San Marcos no es la excepción, la contaminación del agua superficial y de aguas subterráneas poco profundas se ven afectadas por las aguas negras provenientes del sector doméstico y los flujos agrícolas, ocasionando contaminación al agua (CATHALAC, 2008). El agua superficial está cargada de heces, particularmente el agua del casco municipal que es donde se encuentra el área más poblada (USAID, 2018); por lo que es de suma importancia evaluar y confirmar la calidad microbiológica del agua potable suministrada en la cabecera departamental de San Marcos, ya que de este servicio dependen aproximadamente 47000 habitantes (INE, 2019); por medio de este estudio se verificó si el agua suministrada cumple los parámetros microbiológicos y concentración de cloro establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001 2013.

III. ANTECEDENTES

A. Generalidades del agua

“El agua es un compuesto con características únicas que presenta un gran significado para la vida, es el elemento más abundante dentro de la naturaleza y es determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobierna el medio natural. Los griegos creían que el agua era uno de los cuatro elementos que formaron el mundo, al igual que Tales de Mileto, creía que el agua era el principio de todas las cosas existentes. Más tarde Empédocles, seguido por Platón y Aristóteles, la consideraron como uno de los cuatro elementos básicos del universo, y a finales del siglo XVII ya nadie puso en duda que el agua fuera un elemento esencial para la vida” (García, et al., 2010).

“En el año 1775, el químico francés Macquer, obtuvo agua por una reacción de combustión por el hidrógeno, este químico escribía que el agua era “una sustancia inalterable e indestructible” que no podía ser descompuesta; esta suposición fue erradicada por Henry Cavendish, demostrando que el agua, es el resultado de una combinación entre el hidrógeno y oxígeno” (García, et al., 2010).

“Grandes científicos como Monge, Priestley y Watt contribuyeron al descubrimiento de la composición del agua, pero fue Lavoisier, asistido por Laplace, a quien corresponde el mérito de haber sintetizado una molécula de agua a partir de oxígeno e hidrógeno. Lavoisier, fue quien dio los nombres actuales al oxígeno y al hidrógeno; una molécula simple con propiedades extraordinarias que constituyen el fundamento mismo de la vida” (García, et al., 2010).

“El agua aparentemente se resume en una simple fórmula: H_2O , cubriendo el 71% de la superficie de la tierra, incluyendo: océanos, casquetes polares, glaciares, aguas superficiales y subterráneas, conformando lo que se denomina hidrósfera” (García, et al., 2010).

1. Usos del agua

“El agua es uno de los recursos más limitados que existen en el planeta y ofrece una amplia multiplicidad de usos, como por ejemplo: en la agricultura, producción de energía, crianza de peces, uso doméstico, recreación, pesca entre otros; en general, el uso del agua se clasifica en dos categorías: consuntivo y no consuntivo. El agua que se extrae de su ciclo natural en diferentes períodos, se denomina consuntivo y la extracción del líquido puede ser por un tiempo largo o corto, el lugar de origen de donde se obtiene el agua puede ser de un río, lago o aguas subterráneas y donde no se extrae el agua, aun cuando se utiliza, es clasificado como no consuntivo. En el anexo 1, se puede observar de manera detallada los diferentes usos que se le dan al agua, los cuales se encuentran agrupados en las categorías antes mencionadas.

a. Uso consuntivo

- Uso en la industria: materia prima, enfriante, solvente, agente de transporte y como fuente de energía.
- Uso municipal: el uso es público, comercial y residencial, se incluyen todos los usos domésticos como beber y cocinar.
- Agricultura: se utiliza para riego de cultivos y agua que consume el ganado, se estima que del 70 al 80% de agua consumida es destinada para actividades humanas correspondientes a la agricultura.
- Minería: separa los minerales de las rocas y limpia los materiales de desecho.
- Generación de energía térmica: el agua es convertida en vapor que permite que el generador produzca electricidad.

(Ministry of Supply and Services, 1993)

b. Uso no consuntivo

- Generación de energía hidroeléctrica: desde el caudal de un río se utiliza para hacer girar la turbina y producir electricidad.
- Transporte: utilizada para fines comerciales y turísticos.

- Pesca: se considera la extracción de peces con fines comerciales y recreacionales.
- Vida silvestre: el agua es un ecosistema donde habitan muchas especies silvestres, además de la vida acuática que existe en el mismo curso de agua.
- Recreación: práctica de deportes como: natación, canotaje hasta actividades como la fotografía.
- Aceptación de residuos: los lagos y ríos son utilizados como receptores de desechos industriales y humanos, la capacidad del agua para absorber desechos depende de la naturaleza del contaminante, cuanto tiempo permanece el contaminante en el agua, temperatura y caudal.

(Ministry of Supply and Services, 1993)

“En Guatemala, los principales usos que se le dan al agua son: consumo humano (agua potable), riego (agricultura), industria, generación de energía, recreación y pesca” (MARN, 2011).

En el anexo 2, se observa que el principal sector que consume agua en el país, es el industrial, con un promedio aproximado en 5 años de 7840 millones de metros cúbicos anuales, después se encuentran los sectores de riego y ganadería con 5319 millones de metros cúbicos anuales y la generación de electricidad, que pertenece al uso de agua no consuntivo, utilizando 5127 millones de metros cúbicos anuales (MARN, 2011).

2. Tipos de agua

“Existen diversos tipos de agua (potable, dulce, dura, negra, bruta, muerta, alcalina y subterránea), la clasificación de ésta se hace en base al uso, origen, temperatura, tenacidad, mineralización global, composición fisicoquímica o acciones fisiológicas” (Valenzuela y San Martín, 1994).

La definición propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el agua potable es: “aquella que se puede beber sin ocasionar riesgos para la salud; la cual no debe tener contaminantes de ningún tipo, incolora, inodora con sabor agradable y con proporción adecuada de gases y sales disueltas” (OMS, 2002)

3. Calidad del agua en Guatemala

“El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, juntamente con el Código de Salud, son los entes encargados de establecer las normas vinculadas a la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua potable para el consumo humano, estas instituciones junto con las Municipalidades y la comunidad organizada, vigilan la calidad del servicio de agua para consumo humano, que abastece a las personas en el país, trabajando en gran parte en el servicio público” (Acuerdo Ministerial 523-2013, 2013).

El Acuerdo Gubernativo 113-2009, utilizando la Norma COGUANOR NTG 29001 2013, establece las especificaciones para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Ante la necesidad de mantener un control de calidad en el agua, se emitió un manual apoyado por el Decreto Número 114-97: “MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA VIGILANCIA Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO”, el cual indica las especificaciones de calidad que debe cumplir el agua potable (potencial de hidrógeno, cloro residual libre, hierro total, aspectos radiológicos y aspectos microbiológicos) (Acuerdo Ministerial 523-2013, 2013 y Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

Las especificaciones del manual, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua potable, son aplicadas en gran parte del territorio guatemalteco, particularmente en el área urbana, en comparación al área rural, el área rural presenta deficiencias respecto a los puntos críticos que dicta el manual a seguir.

“Guatemala es un país, que cuenta con las condiciones naturales favorables, que le permite disponer de abundante agua para las personas, ambiente y productividad económica, al año aproximadamente se producen 97000 millones de m³ de agua; lamentablemente solo el 10% es aprovechado a nivel nacional” (INE, 2012).

“La ENCOVI para el año 2011, señalaba que de las 334 municipalidades que tenía registradas, solo un 4% aplicaban tratamiento a las aguas residuales, el resto de municipalidades, vertía los cuerpos de agua en los ríos” (INE, 2012).

El anexo 3, demuestra que en los años comprendidos del 2002 al 2010, aproximadamente el 75% de la población tenía acceso a fuentes de abastecimiento de agua, dicho incremento se vio afectado en el 2011; “para mejorar el servicio de agua se instalaron sistemas de desinfección en los municipios, como resultado, para el año 2014 se obtuvo una mejora en el país del 25% en el servicio de agua potable” (INE, 2015).

Para el año 2014, la ENCOVI indicaba un incremento en la población guatemalteca que tenía acceso a los servicios en el abastecimiento de agua potable, la cifra arrojada para ese año fue del 77.8%, el incremento fue de 2 puntos porcentuales, en comparación al año 2011, donde el acceso al agua potable por parte de los guatemaltecos era de un 75.3% (INE, 2012), estos datos son reflejados en el anexo 4.

Los habitantes del área urbana, presentan una cobertura del 89%, en comparación a la población rural, donde hay una deficiencia en el abastecimiento de agua potable, únicamente el 64% de la población rural, tiene acceso a este servicio fundamental (INE, 2012).

Las cifras y tendencias, basadas en el censo nacional del año 2002, así como en las ENCOVI 2006, 2011 y 2014, indicaban que todavía hacía falta mucho para alcanzar la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, implementados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Guatemala, dichos objetivos buscan producir avance en el país; dentro de estas metas está incluido el tema de la mejora con respecto al servicio de agua potable, “en el año 2015 se incrementó el servicio en el país a un 81.5% y se esperaba que para el año 2019 la cobertura llegue a un 85%” (SEGEPLAN, 2015).

Según el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad (IARNA), en el 2009 existían 14 cuencas con alta contaminación física, biológica y contaminantes tóxicos, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en el 2015 registro 547 entes generadores de los cuales únicamente 151 entes y 15 municipalidades cumplían con los parámetros del reglamento 236-2006 que es el de descargas a cuerpos de agua, 286 entes no cumplían y 95 no se han monitoreado por diferentes razones, esto implica que más de la mitad de los entes generadores registrados no cumplen con los parámetros establecidos para proporcionar agua apta para consumo (GWP, 2015).

4. Contaminación del agua

“El agua, es un recurso natural que es indispensable para la vida y constituye una necesidad primordial para la salud; en las sociedades actuales, el agua se ha convertido en un bien preciado por la utilidad y escasez que presenta; además el desarrollo económico está sujeto a la disponibilidad de agua. El ciclo de agua presenta una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración, hace que sea el vertedero habitual de residuos como: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radioactivos entre otros. La degradación de las aguas ha venido desde siglos pasados, pero este ha sido el siglo donde se ha extendido mayormente este problema, evidencia de esto se puede ver la contaminación existente en los lagos, ríos y mares de todo el mundo” (Turégano, 2014).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), considera que el agua se encuentra contaminada cuando su estado natural se ve modificado, de tal modo que pierde sus propiedades, haciéndola ya no apta para consumo humano. “La contaminación que se da en el agua puede ser de origen natural o antrópico, este último, se produce por actividades realizadas por el ser humano, como por ejemplo la falta de drenajes, tala de árboles, tirar basura en la calle o industrialización” (García, 2009).

En Guatemala los principales tipos de contaminación que afectan el agua son:

- **Contaminación de aguas de origen doméstico:** “este tipo de aguas residuales provienen de viviendas o edificios comerciales. En el país los sistemas existentes de drenajes son mixtos, lo que permite que se mezcle el agua de lluvia con aguas negras. Las aguas domésticas no reciben ningún tipo de tratamiento y son descargadas en las diversas cuencas hidrográficas, otro uso que se le dan a estas aguas es para riego agrícola, situación que provoca riesgo en la salud de las personas” (Guzmán, 2012).
- **Contaminación de aguas por usos industriales:** “es el que más afecta a las fuentes hídricas y la contaminación de este tipo se centra en la ciudad. La mayoría de las industrias descarga los residuos sin recibir ningún tipo de tratamiento en ríos o lagos, provocando que se den altos índices de contaminantes en las fuentes

hídricas, los desechos más peligrosos son los provenientes de hospitales, la industria alimenticia y textil” (Guzmán, 2012).

- **Contaminación del agua por usos agrícolas:** “presenta altos índices de contaminantes para las fuentes hídricas por los distintos plaguicidas y pesticidas que se utilizan” (Guzmán, 2012).

B. Principales microorganismos transmitidos por agua

La mayoría de microorganismos que pueden aislarse de agua contaminada son bacterias entéricas, estas provienen del tracto gastrointestinal de animales y humanos, son denominadas bacterias fecales; estas se utilizan como indicadoras de contaminación a corto plazo por descarga de desechos y a largo plazo son indicadores de efectividad de programas de control.

“Los géneros de bacterias Gram negativo encontrados en agua contaminada son: *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*. Existe un grupo bacteriano peculiar que cumple las características de indicador de contaminación de agua, estas son: bacterias coliformes, enterobacterias o *Enterobacteriaceae*, anaerobias facultativas, no esporulantes, productoras de gas, fermentadoras de lactosa por vía glucolítica, generando ácido como producto final” (Ríos, et al., 2017).

“*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Citrobacter* se encuentran en grandes cantidades en fuentes de agua, vegetación y suelos pero no están asociadas necesariamente con contaminación fecal. Especies como *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de tuberías de agua y tanques de almacenamiento que forman biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos prolongados de almacenamiento” (Ríos, et al., 2017).

“Las bacterias Gram positivo no son tan común en fuentes de agua, pero se pueden llegar a encontrar los géneros: *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*. y *E. faecalis*,

afecta a los humanos habitando en el intestino, por lo que también se considera indicador de contaminación fecal” (Ríos, et al., 2017).

Las doctoras: Sandra Ríos, Ruth Agudelo y Lina Gutiérrez, investigadoras de la Universidad de Antioquía en Colombia, en un estudio que llevaron a cabo en el año 2016, acerca de indicadores microbiológicos empleados para la evaluación del agua potable, describen a los agentes microbianos que se pueden aislar más frecuentemente en este suministro tan vital para la vida, la clasificación general es dividida en bacterias, virus y parásitos, los cuales se presentan a continuación:

1. Bacterias

- *Pseudomonas*: “la capa de polisacáridos que posee actúa como barrera fisicoquímica protegiéndola del efecto del cloro residual, se ha aislado de: equipos destiladores, agua potable, tanques de cisterna y redes de distribución de agua para consumo humano, presenta la capacidad de sobrevivir y multiplicarse en aguas sometidas a procesos de desinfección y la característica más importante que tiene es la capacidad de inhibir coliformes” (Pajares y Orlando, 2002).
- Los géneros *Bacillus* (bacteria aerobia) y *Clostridium* (bacteria anaerobia), estas pueden ser aisladas de fuentes hídricas subterráneas, siendo algunas patógenas en humanos y animales, como por ejemplo: *B. anthracis*, *C. perfringens*, *C. tetani*, *C. difficile*, las esporas de *C. difficile* se han recuperado de aguas cloradas, ríos, lagos y muestras de mar. Las esporas de clostridios se pueden utilizar como indicadores de contaminación fecal del agua ya que son extremadamente resistentes al ambiente y sobreviven a largos períodos de tiempo en agua (Coutiño et al., 2008).
- *E. coli* y *Enterococcus* se utilizan con mayor frecuencia como indicadores de contaminación fecal, en comparación a los clostridios, y se debe a que se encuentran en mayor cantidad en las heces, el grupo de Enterococos fecales se utilizan como indicadores de contaminación fecal a largo plazo en contraste con la presencia de coliformes, la razón es porque presentan un mayor tiempo de supervivencia a factores, donde el pH es básico (Coutiño et al., 2008).

2. Virus

Se estima que el 87% de enfermedades virales transmitidas por agua, son causadas por el virus de la Hepatitis, Adenovirus y Rotavirus, se han reportado más de 140 virus patógenos entéricos de transmisión hídrica, esto por la previa contaminación con materia fecal de personas o animales infectados.

“Los principales virus presentes en agua contaminada causantes de diversas enfermedades son: Enterovirus, conformado por tres grupos importantes (Poliovirus, Virus ARN causante de Poliomiéлитis y Coxsackievirus), virus de la Hepatitis (A y E), grupo A del Rotavirus, Calcivirus y Norovirus” (Arcos, et al., 2005).

3. Parásitos

Dentro de los parásitos patógenos transmitidos por el agua se encuentran dos grupos: protozoos y helmintos.

“Los protozoos patógenos más encontrados en aguas contaminadas son: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Blastocystis* spp., *Cryptosporidium* spp. y algunas otras especies de coccidios como *Cyclospora belli*, *Cyclospora cayetanensis* y *Cryptosporidium* spp. Las formas parasitarias, quistes u ooquistes y trofozoitos son retenidos en el proceso de filtración de los sistemas de tratamiento y algunos son resistentes a la cloración, específicamente los ooquistes”. (Baldursson y Karanis, 2015).

“Los principales helmintos patógenos transmitidos por el agua son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Paragonimus* spp., *Schistosoma* spp., *Necator americanus* y *Ancylostoma duodenale* son resistentes a los cambios de pH, humedad y temperatura en el ambiente externo y son causantes de altas tasas de morbilidad por consumo de aguas contaminadas”. (Baldursson y Karanis, 2015).

4. Coliformes totales

“Son bacterias gram negativo de morfología bacilar, pueden ser aerobias o anaerobias facultativas, no forman esporas, oxidasa negativa y fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en un período de 24-48 horas, a temperatura de 36° C. La definición de coliforme total no está basado estrictamente en criterios taxonómicos, sino en reacciones bioquímicas específicas o puede ser también en la apariencia de colonias que presentan características específicas en medios selectivos o diferenciales” (García, et. al., 2006).

“Uno de los hechos negativos de este grupo es que presentan la capacidad de multiplicarse en el agua. La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas, debe estar ausente en un 85% de muestras de agua potable tratadas, en caso que exista presencia, no debe superar el rango de 2-3 coliformes. En aguas tratadas las coliformes totales funcionan como alerta de que ocurrió contaminación, pero no se puede identificar el origen de contaminación, indica que la falla existe en el tratamiento de aguas o en la distribución de las propias fuentes domiciliarias, la presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua e intensifica la vigilancia en la red de distribución” (Delgado, et al., 2003).

5. *Escherichia coli*

“Es una bacteria gram negativo, perteneciente al grupo de coliformes fecales, es el más útil indicador de calidad del agua, siendo el más específico de la presencia de contaminación fecal, se encuentra comúnmente en los intestinos de los animales y seres humanos, este organismo se elimina en la materia fecal y la ruta de transmisión es fecal-oral, las formas más comunes por la que los humanos son expuestos a *E. coli* es por alimentos y agua contaminada” (Arizona Department of Environmental Quality, 2010).

C. Enfermedades transmitidas por agua en el país

En Guatemala, las enfermedades que afectaron a la población, por la mala calidad de agua en el año 2018 fueron: diarrea, hepatitis, rotavirus y los 4 serotipos de dengue (DENV 1, DENV 2, DENV 3 y DENV 4), siendo la diarrea la que ocupó el primer lugar, esto por el inadecuado tratamiento de agua potable por parte de las municipalidades,

condiciones de los servicios de agua para consumo humano y saneamiento básico. Estos factores se encuentran vinculados directamente con las causas de enfermedad. Según datos del boletín epidemiológico llevado a cabo en Guatemala, en el 2018 se reportaron 37,627 casos de diarrea, hubo un decremento de 37.2% en comparación al 2017 (Departamento de Epidemiología, 2018).

D. Norma COGUANOR NTG 29001

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), es un Organismo Nacional de Normalización y la principal función que lleva a cabo es proporcionar soporte técnico a los sectores, tanto público como privado, por medio de la actividad de normalización; en el caso de la norma COGUANOR NTG 29001 2013 establece los valores de las características que definen la calidad de agua para consumo humano (agua potable).

En esta norma se encuentran tabulados los límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP) de compuestos químicos, características sensoriales y límites bacteriológicos, se aplica la norma a toda agua obtenida de pozos, ríos, nacimientos, entre otros, dicha agua es utilizada en la red de distribución para consumo humano, preparación de alimentos o de uso doméstico.

El LMA: es el valor de la concentración, de cualquier característica de calidad del agua, por arriba del límite establecido por la norma, es rechazable para el consumidor, pero no implica daños a la salud.

El LMP: es el valor de la concentración, de cualquier característica de calidad del agua, por arriba del límite establecido por la norma, indicando que el agua no es adecuada para consumo humano (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

En la tabla 1 se describen los límites establecidos para las características químicas del agua potable, las cuáles deben encontrarse dentro del LMA y LMP establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013 para poder considerarse como apta para consumo humano.

Tabla 1*Características químicas que debe tener el agua para consumo humano.*

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO₄⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	----

(a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Socias 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 en 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 NTG 29001, 2013

La tabla 7 indica que no debe existir presencia de Coliformes Totales y *E. coli* en los sistemas de almacenamiento y distribución de agua potable, cuyo suministro tiene el fin de abastecer la red de distribución domiciliar para consumo humano, si no se cumple con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29001 2013, se clasifica el agua como no apta para consumo humano

Tabla 7*Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua.*

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

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001, 2013

1. Análisis físico

“Este tipo de análisis, va relacionado con la medición y registro de propiedades organolépticas, que pueden ser observadas por los sentidos como: color, olor y sabor; estas características son las que impresionan más al consumidor, pero tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario” (Ramos, 2006).

- a. **Color:** “es ocasionado por la extracción de la materia colorante, derivado de hojas, semillas u otras sustancias como humos de los bosques. El verdadero color del agua se debe a la presencia de materiales en solución” (Ramos, 2006).
- b. **Olor:** “se debe a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles, los cuales se producen cuando hay descomposición de la materia orgánica. Los olores desagradables convierten a las aguas en no aptas para procesos industriales, productos alimenticios y de consumo humano” (Ramos, 2006).
- c. **Temperatura:** “se considera como una medida de la energía térmica, donde hay un movimiento desordenado de moléculas en una sustancia en equilibrio térmico, no afecta directamente al consumidor” (Ramos, 2006).
- d. **Turbidez:** “es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia, debido a partículas en suspensión, entre más sólidos en suspensión se encuentren en el agua, presentara una turbidez alta” (Ayres, 1998).
- e. **Conductividad eléctrica:** indica la concentración de sólidos iónicos disueltos. A mayor cantidad de sales disueltas mayor es la conductividad (Ayres, 1998).
- f. **pH:** la mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH entre 5.5 – 8.6 grados en una escala de 14 grados, un pH de 7 refleja neutralidad, un pH mayor de 7 alcalinidad y por debajo de 7 acidez. La alteración excesiva fuera de estos límites indica contaminación del abastecimiento de agua (Ramos, 2006).

2. Análisis químico

En este análisis, se determinan las cantidades de materia mineral y orgánica presentes en el agua, los cuales pueden afectar su calidad; este análisis para la evaluación de la calidad del agua se hace por dos razones, la primera, es para determinar si la concentración de constituyentes químicos se encuentra dentro de los rangos de la norma COGUANOR 29001 del 2013 y la otra razón, es determinar la presencia de productos del nitrógeno y relacionarlos con la contaminación de materia orgánica (Ramos, 2006).

Los constituyentes químicos evaluados en este análisis son: sulfatos, calcio, magnesio, manganeso, nitratos, hierro, plomo, cromo, sólidos totales disueltos, entre otros (Ramos, 2006); principalmente el cloro, que es uno de los parámetros utilizados dentro de este estudio.

- a. **Cloruro:** “este se utiliza ampliamente en aguas y drenajes como agente oxidante y desinfectante, como agente oxidante se emplea para el control de sabor, olor y eliminación de color en el tratamiento de aguas municipales. Como desinfectante se aplica en el tratamiento de aguas potables y desinfección de aguas residuales. La determinación de este parámetro es importante en el agua que se utiliza de abastecimiento para la red domiciliar ya que un exceso de cloro es indicio de contaminación por excretas humanas” (Ramos, 2006).

“Cuando se adiciona al agua una cantidad conocida de cualquiera de las formas de cloro y después de cierto intervalo de tiempo se analiza para determinar el cloro, lo que se está obteniendo es el cloro residual. Existen dos formas de cloro residual, el libre y combinado. El cloro residual libre se obtiene cuando el agua se clora íntegramente, el cloro se aplica directamente al agua, destruyendo el amoníaco en el agua, la acción bactericida es menos eficaz que el cloro residual combinado” (Ramos, 2006)

“El cloro residual combinado puede estar en el agua tanto en forma de iones hipoclorito y ácido hipocloroso que reacciona rápidamente con el amoníaco y compuestos nitrogenados para formar cloro combinado, presentando una mayor acción bactericida en el agua” (Pensamiento, 2011).

3. Análisis Microbiológico

“El agua que circula por el sistema de distribución, debe ser previamente tratada para que no contenga ningún tipo de microorganismos de origen fecal, el objetivo principal de practicar este análisis al agua, es la determinación de microorganismos patógenos, los principales microorganismos indicadores de contaminación fecal son: Coliformes Totales y *E. coli*. La presencia de estos, es un indicio seguro de contaminación fecal y por lo tanto se debe exigir la aplicación de medidas urgentes para eliminarlos del agua potable” (Arcos, et al., 2005).

a. Muestreo

“Es fundamental que cuando se planifica un muestreo, precisar claramente cuál es el objetivo del mismo, si es para análisis fisicoquímico y/o microbiológico, para consumo humano, abrevado animal, para riego, u otro fin; definir qué tipo de muestreo se utilizara, define los elementos requeridos y las condiciones en que se realizará. Hay que asegurarse que la muestra sea representativa de la fuente de donde se está obteniendo, la muestra no debe deteriorarse, ni contaminarse antes de llegar al laboratorio, ya que la calidad de los resultados dependen de la integridad de las muestras que ingresen al sitio de análisis. Se debe garantizar que el resultado analítico represente la composición real de la fuente de origen. El material de campo indispensable para el muestreo es: envases para el muestreo, rotulador, cinta adhesiva, planilla de registro, cuaderno, lápiz y conservadora con refrigerantes” (Basan, et al., 2011).

“El envase a utilizar, estará en función de la cantidad de muestra a tomar, para análisis microbiológico, lo ideal es utilizar frascos con capacidad de 250 a 300 ml, de plástico o vidrio, esterilizados, con tapa hermética y en lo posible boca ancha. Se debe tener presente que al seleccionar los envases éstos deben de mantenerse refrigerados” (Basan, et al., 2011). “Si se observan burbujas de aire se deberá de descartar la muestra y repetir el llenado con una nueva muestra y otro recipiente” (Norma COGUANOR NTG 29006, 2011).

“Es conveniente rotular los envases antes de iniciar el muestreo, ya que se cuenta con mejores condiciones de higiene y asegurarse que la rotulación de la identificación de cada muestra no se borre y sea unívoca para no confundirlas” (Basan, et al., 2011).

“La toma de muestra, para análisis microbiológico en la red doméstica, se toma del grifo que está conectado directamente a la red de distribución de agua potable, el grifo se debe de calentar utilizando un mechero o hisopo embebido en alcohol, se deja un tiempo prudente para que el flujo de agua del grifo sea constante; cuando el agua a muestrear se encuentra clorada se debe utilizar recipientes que contengan tiosulfato de sodio para neutralizar el cloro” (Basan, et al., 2011).

“Cuando la muestra se toma de un tanque de almacenamiento, la muestra se toma bajando el recipiente dentro del tanque a una profundidad de 15 a 30 centímetros, desde la superficie libre del líquido, evitando en todo momento tocar las paredes del tanque” (Basan, et al., 2011).

b. Acondicionado y transporte de la muestra

“En el caso de un análisis microbiológico, la muestra se debe de mantener en cadena de frío hasta su arribo al laboratorio, con este procedimiento se evita que especies químicas como nitratos, nitritos y sulfatos sufran transformaciones por acción microbiana y se deben mantener resguardadas de la luz, las temperaturas mayores a 6° C como la luz, provocan la multiplicación de microorganismos, e invalida la muestra, dado que los resultados no reflejarán la realidad y debe evitarse el congelamiento de la muestra, en resumen, son tres los factores que afectan a los organismos vivos en una muestra para análisis microbiológico: a) temperaturas por arriba de 6° C, b) luminosidad, c) congelamiento de la muestras, los primeros dos factores permiten la multiplicación de los microorganismos y el último factor hace que se mueran los microorganismos y de un resultado de no contaminación, cuando sí puede haberlo, estos factores hacen que se invalide la muestra” (Basan, et al., 2011).

Tabla 3*Recipientes, volumen y condiciones de manipulación y almacenamiento de las muestras.*

Parámetro	Recipiente	Cantidad Mínima de Muestra (mL)	Preservación (En el caso de no analizar inmediatamente)	Tiempo Máximo de Almacenamiento (Recomendado)
Color	P,V	500	Refrigerar	24 h.
Olor	V	500	Analizar lo más pronto posible, refrigerar	6 h.
Cloro residual libre	P,V	500	Analizar inmediatamente	15 min.
Microbiología	P,V	100	Recipientes estériles con tiosulfato de sodio, refrigerar	24 h.

P: Plástico (polietileno o equivalente), V: vidrio, Refrigerar: almacenar $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en la oscuridad. Analizar inmediatamente: analizar dentro de los 15 minutos después de colectada la muestra.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29006, 2011

E. Métodos de análisis microbiológico para agua

Estos métodos consisten en análisis rutinarios que permiten determinar la presencia de coliformes en el agua, las bacterias coliformes no son patógenas, pero se asocian a menudo con organismos que sí lo son, convirtiéndose en un claro índice de seguridad bacteriológica de un cuerpo de agua. “Para determinar la calidad bacteriológica del agua, se pueden emplear varias técnicas como: filtración por membrana, sustrato definido (más utilizadas) y tubos múltiples” (Roldan y Ramírez, 2008).

1. Tubos Múltiples

“Utilizando este método, se determina la presencia y el número de bacterias coliformes, mediante la siembra de una serie de volumen determinado de muestra, en tubos que contienen un medio favorable de cultivo. Este método se basa en leyes de probabilidades y se utiliza para obtener una estimación del número de bacterias en una muestra, expresándose como Número más Probable (NMP). El principio de esta metodología consiste, en que las bacterias presentes en una muestra pueden separarse de otras por agitación, como resultado se obtiene una suspensión de bacterias individuales, las cuales se encuentran distribuidas de manera uniforme” (Roldan y Ramírez, 2008).

En esta técnica se inoculan volúmenes decrecientes de muestra en un medio de cultivo adecuado, cada volumen es inoculado en una serie de tubos, con las soluciones

sucesivas se obtienen inóculos cuya siembra da resultados positivos y negativos; con estos resultados se utilizan tablas de NMP (Anexo 5) para deducir el número de microorganismos presentes en 100 mL, por un cálculo estadístico probable. La combinación de resultados negativos y positivos permite estimar la densidad original de bacterias. Para análisis de agua se utiliza el factor 10 de dilución, inoculándose múltiplos o submúltiplos de 1 mL de muestra en series de 5 tubos para cada volumen que va a ser inoculado (Roldan y Ramírez, 2008).

F. Procedimientos para tratar agua contaminada

“El propósito principal de estos procedimientos es acondicionar y modificar características indeseables del agua, para permitir la eliminación de impurezas o agentes patógenos y obtener al final agua segura, agradable y aceptable por los consumidores. Los procesos físicos, químicos y mecánicos son algunos de los procesos de tratamiento más comunes para agua. En ocasiones la adición de sustancias químicas para mejorar la calidad del agua es la única técnica de tratamiento usada” (Seguí, 2004).

“Es importante mencionar que existen diversos procedimientos para el tratamiento del agua, sin embargo no existe ningún tipo de procedimiento simplista, ni producto químico apropiado para el tratamiento de todas las clases de agua” (Seguí, 2004).

“Los principales procesos de transferencia, utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano, son los siguientes: transferencia de sólidos, transferencia de iones, transferencia de gases y transferencia molecular” (De Vargas, 2004)

G. Generalidades del lugar de muestreo

“El municipio de San Marcos fue fundado el 25 de Abril de 1553, fecha en que arribó la Colonia Militar, integrada por 50 hombres españoles con el propósito de extender los dominios a estos lugares, ésta colonia militar fue enviada por el conquistador Pedro de Alvarado, éstos hombres llegaron al bosque llamado Candacuchex, que en español significa “Tierra de Frío”. El 25 de Septiembre de 1675 el Lic. Juan Bautista de Arqueola distribuye las tierras bajo la idea latifundista y surge San Marcos como barrio de Quetzaltenango. Posteriormente se constituye en Municipio” (Morente, 2010).

“El 27 de Agosto de 1836, San Marcos fue adscrito al Circuito del Barrio y fue elevado a la categoría de Valle, por decreto el 12 de Noviembre de 1825 y pasó a ser la cabecera del distrito territorial de su nombre el 3 de Julio de 1832” (Morente, 2010).

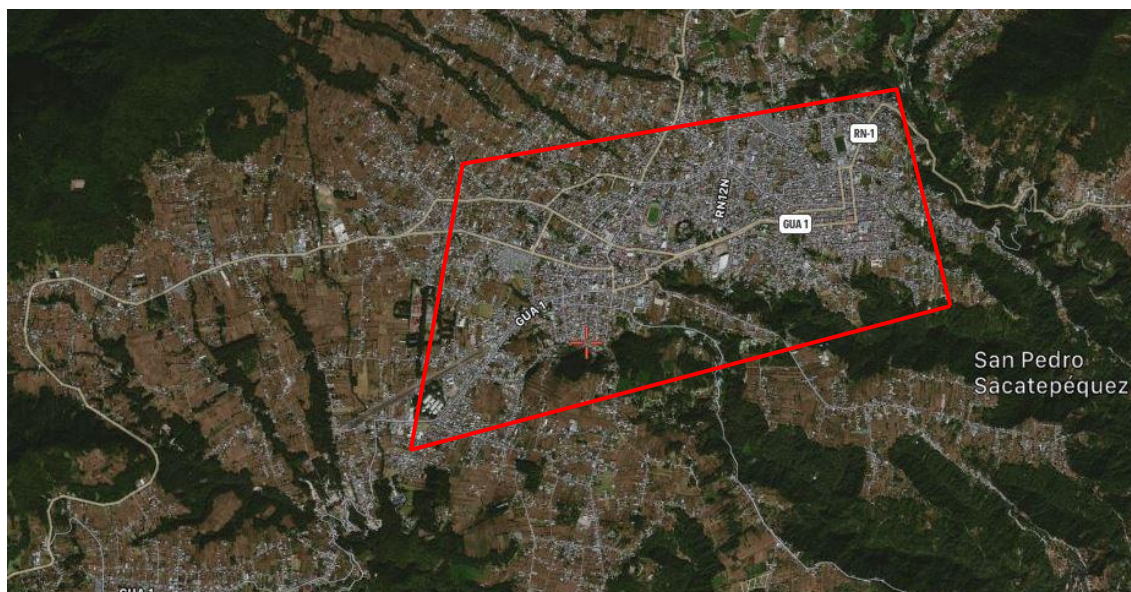
Como consecuencia de los terremotos provocados por el volcán Santa María en 1902, los municipios de San Marcos y San Pedro Sacatepéquez fueron destruidos. Por acuerdo gubernativo No. 624 del 28 de Abril de 1902, el gobierno ordenó la reconstrucción de esos dos poblados para dar paso a la creación de la ciudad de la Unión, se forma el municipio de San Marcos La Unión y nominar a San Marcos como cabecera. Con ese motivo se construyó un edificio especial llamado Palacio Maya, donde funcionaba la Gobernación Departamental y la Municipalidad. (Morente, 2010).

1. Ubicación Geográfica

“El municipio de San Marcos está ubicado en el área de la sierra Madre, en el Altiplano, Región VI suroccidental del país, colinda al norte con los municipios de Ixchiguán, Tejutla y Comitancillo; al sur con los municipios de Esquipulas Palo Gordo, Nuevo Progreso, San Rafael Pié de la Cuesta y San Cristóbal Cucho; al este con los municipios de San Lorezo y San Pedro Sacatepéquez y al oeste con los municipios de San Pablo y Tajumulco” (Morente, 2010). Geográficamente, se localiza en la zona central del departamento, a una altura de 2,398 metros sobre el nivel del mar y se ubica en la latitud Norte 14° 57' 40" y longitud, Este 91° 47' 44". Se ubica a 250 kilómetros de la ciudad de Guatemala. El municipio de San Marcos posee una extensión territorial de 121 km² y una población aproximada para el año 2019 según el Instituto Nacional de Estadística de 63,858 habitantes, equivalente al 5.32% de la población total del departamento (SEGEPLAN y Consejo Municipal de Desarrollo, 2010).

Figura 1

Límites de la cabecera departamental de San Marcos donde se realizará el muestreo.



Fuente: Google Maps, 2019

“En el año 2009 la cabecera departamental de San Marcos contaba con diversos centros poblados, los cuales fueron distribuidos de la siguiente manera: una ciudad que es la cabecera municipal, ésta se subdivide en ocho cantones y una colonia (Colonia Justo Rufino Barrios y Cantones: San Antonio, Santa Isabel, San Nicolás, Guadalupe, San Francisco, Santa Rosalía, San Ramón y Santo Domingo)” (SEGEPLAN y Consejo Municipal de Desarrollo, 2010).

2. Hidrografía y calidad de agua en San Marcos

Dentro de la hidrografía del municipio de San Marcos se encuentran los siguientes ríos (Anexo 6): el Cabuz, el cual es uno de los principales del Municipio, nace en la aldea el Recreo y en su recorrido se forma como río por medio de las micro cuencas de la aldea Canaque; los ríos Hierbamora y Trojas los cuales, recorren las aldeas Canaque, Barranca de Gálvez y El Rodeo. El Apadero recorre la aldea Barranca de Gálvez; existen otros ríos como La Joya que cruza las aldeas El Rincón y Caxaque, el río Canoa de Piedra que pasa por la aldea San Sebastián, los ríos Chicas, Berral y Petz que recorren la aldea de San José Las Islas.

De los riachuelos se pueden mencionar los siguientes: Chinal, La Fuente Viva, Majáquez, la Cueva y el Chorro. Se encuentran algunos nacimientos de agua entre los cuales se pueden mencionar: Santa Lucía Ixcamal, nacimiento Cerro Chil, San José Ojo de Agua, Agua Escondida y Capitán (aldea San Antonio Serchil) (Morente, 2010).

Durante la estación lluviosa que comprende los meses de Mayo a Octubre, moderadas cantidades de agua superficial dulce están disponibles provenientes de los Ríos Suchiate, Cabuz, Nahuatan, Meledez y Naranjo. Las mejores áreas para la exploración de agua subterránea en el departamento son los acuíferos aluviales, éstos proporcionan agua dulce aproximadamente a la mitad del departamento incluyendo a la cabecera departamental (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 2000).

“La cabecera departamental de San Marcos, cuenta con cuatro sistemas principales de abastecimiento de fuentes naturales de agua, los cuales son: Nacimiento Ixcamal, Nacimiento Los Arcos, Nacimiento Cadena y Nacimiento Asunción” (USAID, 2018). Además de la captación de estas fuentes, “el sistema se alimenta de 5 pozos mecánicos, los cuales se ubican dentro del perímetro urbano; el agua se reúne en una caja de captación e inmediatamente pasa a un depósito, donde se bombea mediante líneas de impulsión” (USAID, 2018).

La cobertura de agua para consumo humano en los últimos años en el departamento ha sido del 93%, esto quiere decir que la mayoría de la población tiene acceso a agua potable, el restante que es el 7% se abastece de otras formas como: chorros para varios hogares, chorro público, pozos y de otros tipos. (SEGEPLAN y Consejo Municipal de Desarrollo, 2010).

En la cabecera departamental se cuenta con seis equipos de cloración instalados en los pozos y tanques que utilizan gas cloro, el racionamiento se realiza en base a horarios establecidos del servicio o depende de problemas que generen los equipos de bombeo (Morente, 2010).

H. Estudios realizados

En el año 2004, se evaluó la calidad del agua potable en el municipio de Guastatoya, los resultados demostraron que la cloración no se realizaba de manera óptima, concluyendo que el agua, no era apta para consumo humano (Cervantes, 2004).

Tesista de la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, en el año 2004, llevo a cabo un estudio para evaluar la calidad del agua en pozos mecánicos de la zona 11 de Mixco, el agua se distribuía para fines de consumo humano, tanto los parámetros del estudio fisicoquímico como microbiológico se encontraban dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 1999; se concluyó que el agua era apta para consumo humano (Gramajo, 2004).

En el año 2004, en la Facultad de Ingeniería, un tesista determino la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, proveniente de la planta de tratamiento la Carbonera, ubicada en el municipio de Sanarate, los resultados cumplían la norma COGUANOR NTG 29001 1999, se concluyó que el agua era apta para consumo humano y se podía utilizar sin ningún tratamiento en la industria (Solórzano, 2004).

En 2005, se determinó la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano en Palín, Escuintla, los resultados demostraron que los límites de los parámetros fisicoquímicos si se cumplían, pero los parámetros microbiológicos no, por lo se determinó que el agua no era apta para consumo humano, según lo establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 1999 (Zanotti, 2005). Este estudio se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Durante el 2006, un tesista de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, determinó la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano en Guazacapán, Santa Rosa, en donde se concluyó, que únicamente los parámetros fisicoquímicos, cumplían la norma COGUANOR NTG 29001 1999, por lo tanto el agua no es apta para consumo de la población (Roldán, 2006).

En el 2007, se evaluó el sistema que alimentaba agua tratada a las máquinas de hemodiálisis, utilizadas por pacientes con Insuficiencia Renal del Centro Médico Militar,

se concluyó que el agua, no cumplía con las normas nacionales ni internacionales, poniendo en riesgo la salud de los pacientes que la utilizaban (Sarceño, 2007). Este estudio se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería.

En el año 2011, se realizó un estudio para determinar la calidad de agua para consumo humano, distribuida por la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, los resultados microbiológicos demostraron la presencia de Coliformes Totales, Fecales y *E. coli* por encima de los valores establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 1999. Se concluyó que el agua suministrada por esa municipalidad no era apta para consumo humano (Ayme, 2011).

Otro estudio realizado en el año 2011, se enfocó en evaluar la calidad de agua distribuida por la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, se concluyó que únicamente los análisis fisicoquímicos cumplían la norma COGUANOR NTG 29001 1999, por lo tanto el agua distribuida por esa municipalidad no era apta para consumo humano (Pensamiento, 2011).

En el 2012, se evaluó la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano, distribuida en el casco urbano del departamento de Chiquimula, solamente se cumplieron los parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 1999, se concluyó que el agua distribuida, no era apta para consumo humano (Hernández, 2012).

Uno de los estudios más recientes con respecto al agua, se realizó en el 2017, donde se evaluó la calidad fisicoquímica y bacteriológica de un pozo, ubicado en la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, únicamente los parámetros fisicoquímicos cumplieron con la norma COGUANOR NTG 29001 2013, por lo tanto se concluyó que el agua, no era apta para consumo humano (Barahona, 2017). Los últimos estudios se llevaron a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

IV. JUSTIFICACIÓN

El agua es uno de los recursos renovables más importantes para la vida humana animal y vegetal, ya que tiene un papel importante para el desarrollo sostenible, crecimiento económico, estabilidad política, social y más importante en la salud de una población.

En Guatemala, existe una problemática actual en cuanto a la calidad del agua, la industrialización, tala de árboles y urbanización, provocan que los cuerpos de agua sean afectados. En el país se afronta una crisis en cuanto al manejo y preservación del agua. Las limitaciones de acceso a este valioso recurso dan como resultado preocupaciones en cuanto a la calidad de agua, la planificación bajo incertidumbre y la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de uso de este recurso.

En todo el país existe una tendencia al deterioro de cuerpos de agua y San Marcos no es la excepción, el problema principalmente se genera por contaminación de aguas residuales de origen doméstico y agrícola, provocando efectos negativos en la calidad de agua para consumo humano. En la cabecera departamental el 64% de la población tiene acceso a este servicio, el agua proviene de diversas fuentes que abastecen 4 tanques principales, localizados alrededor del casco municipal, los cuales cuentan con sistemas de cloración para garantizar la calidad del servicio. El 34% de la población restante se abastece de otras formas, como por ejemplo: utilizando chorros para varios hogares o chorros públicos.

Las personas beneficiadas por el servicio de agua aproximadamente son 47000, dicho servicio está a cargo de la empresa municipal de agua potable, como parte del monitoreo de agua, realizan dos muestreos anuales en tanques y pozos. La evaluación de la calidad microbiológica del agua y la concentración de cloro residual libre y total que se llevará a cabo en tanques de abastecimiento, pozos y red domiciliar, permitirá conocer si el agua proporcionada a la población marquense, en la cabecera departamental, cumple los parámetros microbiológicos y concentración de cloro, establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, esta norma establece las parámetros y características que definen la calidad de agua para consumo humano.

V. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica de agua potable en tanques de abastecimiento y distribución en la cabecera departamental de San Marcos, utilizando técnicas microbiológicas y fisicoquímicas.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Determinar la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento y distribución como el agua suministrada en la red doméstica mediante la concentración de Coliformes Totales y *E. coli*, verificando que éstos se encuentren dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, por medio de la metodología: Número más Probable.

1.2.2 Determinar la concentración de Cloro Residual Libre y Total mediante la técnica DPD.

VI. HIPÓTESIS

Por ser un estudio descriptivo no se presenta hipótesis.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo de Trabajo

1. Universo

Agua proveniente de pozos, tanques de abastecimiento/distribución y red domiciliar en la cabecera departamental de San Marcos

2. Muestras

Las muestras se tomaron de 5 pozos, 2 tanques de abastecimiento y 20 casas ubicadas en los alrededores de la cabecera departamental de San Marcos.

B. Recursos

1. Humanos

- a) Jonathan Antonio Roblero Albisures (Tesisista)
- b) M. Sc. Sergio Lickes (Asesor)
- c) Personal de la Municipalidad de San Marcos

2. Institucionales

- a) Municipalidad de San Marcos
- b) Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

C. Materiales y Equipo

1. Equipo

- Refrigerador
- Autoclave

- Balanza
- Cabina de bioseguridad clase II
- Vórtex
- Lámpara UV
- Incubadora a 35°C y 44.5°C

2. Materiales

- Frascos plásticos estériles
- Gradillas plásticas
- Hielera
- Hielo
- Mechero Bunsen
- Pipetas volumétricas 1 – 10 mL
- Pipeteador
- Bureta
- Tubos de ensayo con capacidad para 20 mL
- Tubos de ensayo con capacidad para 30 mL
- Erlenmeyer
- Pipetas automáticas
- Puntas para pipeta
- Dosificador acoplable a frascos dispensette
- Medidor de Cloro Libre y Total

3. Reactivos

- Set de reactivos para determinación de Cloro (Libre y Total)
- Etanol al 70%
- Agua desmineralizada estéril
- Reactivo de Kovacs
- Caldo LMX

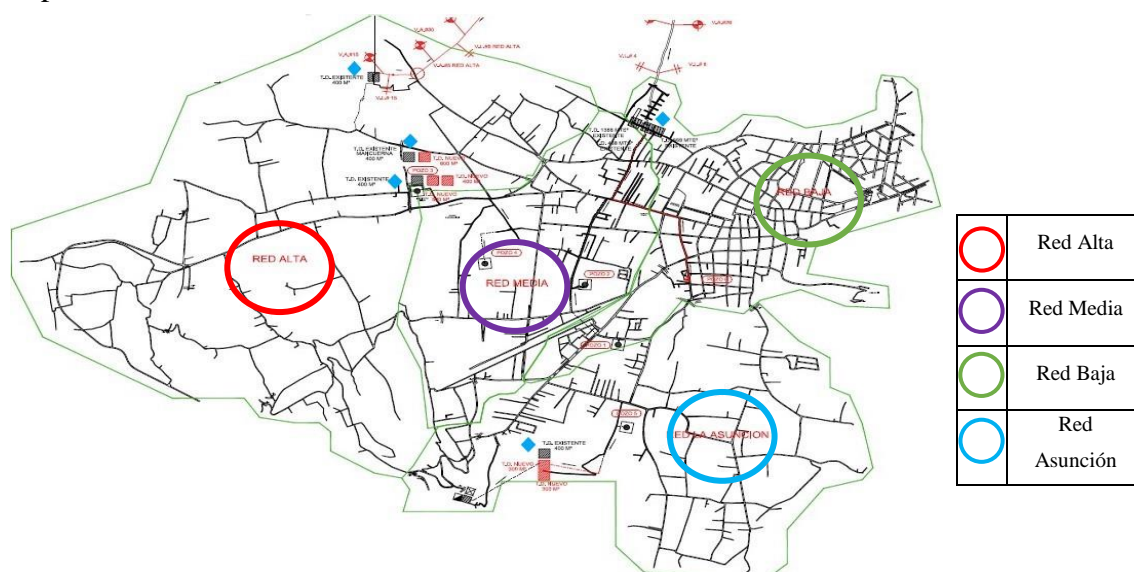
D. MÉTODOS

1. Toma de muestra

Las muestras de agua se tomaron de forma aséptica de los 5 pozos, 2 tanques (Red Media y Baja) y red de distribución domiciliar, que se encontraron ubicados en los alrededores de la cabecera departamental de San Marcos, las muestras fueron transportadas en recipientes estériles y en refrigeración, tomada la muestra se identificó con los siguientes datos: lugar, fecha y hora de captación, condiciones de almacenamiento, análisis que se realizó y concentración de cloro residual libre y total. Este proceso se realizó en dos fechas; la primera recolección se llevó a cabo en época seca que correspondió al mes de Abril y la segunda en época lluviosa en el mes de Septiembre. La toma de muestras en la red de distribución domiciliar se hizo por medio de Sector Censal que es la manera como lo trabaja el Instituto Nacional de Estadística (INE) según el método 4 x 5 (4 muestras recolectadas por cada zona perteneciente a la cabecera departamental). Para que cada muestra fuera representativa de la zona se tuvo que sacar el total de hogares por zona y el número obtenido dividirlo en 4, esto con el fin de saber a cada cuantas casas se tenían que tomar las muestras de agua.

Figura 2

Localización de los tanques de abastecimiento y distribución en la cabecera departamental de San Marcos.



Fuente: Empresa Municipal de Agua San Marcos, 2019

2. Técnica para análisis de concentración de Cloro

Se empleó el método fisicoquímico y colorimétrico DPD; mediante esta técnica se pudo determinar la presencia de cloro libre y cloro total en aguas desinfectadas con insumos químicos clorados, la reacción química se basa en la oxidación selectiva del dietil-p-fenilén-diamina (DPD) por las distintas especies oxidantes que se encuentran en el agua, en este caso el cloro reaccionó instantáneamente con el DPD formando un complejo de color rosa; para la determinación de la concentración de cloro residual libre y total se empleó un comparador visual que por medio de una escala de color con concentraciones establecidas que va desde el rosa tenue hasta rosa fuerte proporcionó el valor de cloro en la muestra.

Para esta técnica se utilizaron dos celdas, ambas celdas fueron llenadas con 10 ml de la muestra de agua que se analizó, la primera celda se utilizó como control y a la segunda celda se le añadió el reactivo en polvo para determinar cloro residual libre o total, la reacción fue inmediata en la determinación de cloro residual libre, mientras que en la determinación de cloro residual total se tuvo que esperar 3 minutos para ser comparada en la escala de color, el resultado es reportado como mg/L (Moreno y López, 1991).

3. Técnica para análisis de microbiológico

El análisis experimental microbiológico utilizado fue el del método número más probable (NMP), utilizando un sustrato cromogénico y uno fluorogénico, para determinar coliformes totales y fecales presentes en la muestra. Este método consta de una sola etapa en donde se utilizaran tres diluciones (1:2, 1:10 y 1:100) en 15 tubos que contienen 10 ml de caldo LMX (Lauril Sulfato-MUG-X-GAL), 10 tubos con concentración simple y 5 tubos con concentración doble.

Para la determinación de coliformes totales se incubaron los tubos a 35°C durante 24 horas, este caldo contiene un sustrato cromógeno, 5-bromo-4-clor-3-indol- β -D-galactopiranosido (X-GAL), el cual es hidrolizado por la enzima β -D-galactosidasa que es producida por las bacterias coliformes totales, ocasionando un cambio de color en el caldo, que va de amarillo a azul-verde que indica y confirma una prueba positiva.

El caldo también contiene un sustrato fluorogénico que es 4-metilumbiferil- β -D-glucuronido (MUG), el cual es “hidrolizado por la enzima β -D-glucuronidasa producida por la bacteria *E. coli*, ocasionando una fluorescencia en el caldo bajo luz ultravioleta de onda larga de 336 nm”, esto indica la presencia de esta bacteria (Merck, 2014)

Para confirmar la presencia de *E. coli* en las muestras se comprobó con la producción de Indol en los tubos que presentan fluorescencia por medio del reactivo de Kovacs (Redondo y Arias, 2011).

Al evidenciar positividad en los tubos se procedió a estimar la concentración de estos en la muestra calculando el NMP con las tablas estadísticas especialmente diseñadas para su evaluación.

4. Diseño estadístico

1.1 Tipo de estudio: Descriptivo

1.2 Tipo de muestreo: Aleatorio estratificado

2. Análisis de resultados

El tratamiento estadístico utilizado fue es un Test Binomial de probabilidades asociado con valores pequeños (Anexo 7), este test se empleó para determinar el porcentaje de calidad de agua que se estaba distribuyendo en la red domiciliar, para determinar este valor se usaran los datos de la tabla 7, se esperaba que de las 20 muestras de agua obtenida de la red domiciliar, 13 muestras dieran un resultado negativo para Coliformes Totales y *E. coli* para obtener una calidad del 94.2%.

El análisis microbiológico y los resultados de la concentración de cloro (libre y total) de las muestras de agua obtenidas de los pozos, tanques y red domiciliar se clasificaron según el cumplimiento o no de la norma COGUANOR NTG 29001 2013 y con esto se determinó si los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma.

VIII. RESULTADOS

El análisis bacteriológico, por medio de la evaluación cuantitativa de número más probable, indicó ausencia de Coliformes Totales y *E. coli* en pozos y tanques; como se observa en la tabla 9, el agua es apta para consumo humano desde el punto de vista microbiológico; todas las concentraciones se encontraron dentro del límite establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013.

Tabla 4

Parámetros microbiológicos evaluados en pozos y tanques de San Marcos durante el 2019.

Fuente	Época seca		Época lluviosa		Norma COGUANOR NTG 29001 LMP
	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	
Pozo 1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Pozo 2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Pozo 3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Pozo 4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Pozo 5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Tanque de almacenamiento, Red Baja	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	No deben ser detectables en 100 mL de agua
Tanque de distribución, Red Baja	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
Tanque de distribución, Red Media	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	

NMP / 100 mL: Número más probable en 100 mililitros.

La concentración < 1.8 NMP/100 mL es análogo al no detectable en 100 mL, establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

Los resultados del análisis microbiológico en ambos muestreos, indicaron que únicamente la zona 5 tuvo presencia de Coliformes Totales y *E. coli*, (tabla 5) por lo tanto el agua que se distribuye en esa zona no es apta para consumo humano; el resto de zonas no presentaron concentraciones de microorganismos que sobrepasaran el LMP.

Tabla 5

Parámetros microbiológicos evaluados en la red domiciliar de agua potable en San Marcos durante el 2019.

Fuente (Zona)	Época seca		Época lluviosa		Norma COGUANOR
	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL	NTG 29001 LMP
1.1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
1.2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
1.3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
1.4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
2.1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
2.2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
2.3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
2.4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
3.1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	No deben ser detectables en 100 mL de agua
3.2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
3.3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
3.4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
4.1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
4.2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
4.3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
4.4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	
5.1	110	70	20	7.8	
5.2	280	170	< 1.8	< 1.8	
5.3	< 1.8	< 1.8	240	17	
5.4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	

NMP / 100 mL: Número más probable en 100 mililitros.

La concentración < 1.8 NMP/100 mL es análogo al no detectable en 100 mL, dictado por la norma COGUANOR NTG 29001 2013.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

Los resultados obtenidos para la época seca y lluviosa en pozos y tanques de agua, indican 100% de ausencia de Coliformes Totales y *E. coli* (tabla 6). Por lo anterior el agua suministrada a cargo de la Municipalidad de San Marcos, cumple los parámetros microbiológicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, la cual establece que no deben ser detectable en 100 mL.

Tabla 6

Frecuencia de muestras en pozos y tanques con ausencia o presencia de Coliformes Totales y E. coli durante la época seca y lluviosa.

	¹ C. T.	%	² <i>E. coli</i>	%	³ S. C.	%	Total de número de muestras
Pozo 1	0	0	0	0	2	100	2
Pozo 2	0	0	0	0	2	100	2
Pozo 3	0	0	0	0	2	100	2
Pozo 4	0	0	0	0	2	100	2
Pozo 5	0	0	0	0	2	100	2
Tanque de almacenamiento, Red Baja	0	0	0	0	2	100	2
Tanque de distribución, Red Baja	0	0	0	0	2	100	2
Tanque de distribución, Red Media	0	0	0	0	2	100	2
Total	0	0	0	0	16	100	16

¹Número de muestras positivas para Coliformes Totales.

²Número de muestras positivas para *E. coli*.

³Muestras sin contaminación.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

En la tabla 7 se describen los resultados obtenidos en abril (época seca), se está relacionando la presencia de Coliformes Totales y *E. coli*. En base a los criterios microbiológicos indicados en la norma COGUANOR NTG 29001 2013, el 99.9% de las muestras lo cumplen, mientras que en la zona 5 existe contaminación por microorganismos, representando un 0.05% de contaminación fecal. Nótese que en el resultado total de C.T. y *E. coli*, se obtuvo un total de 1, pero en el informe del pozo 5 se reportaron dos muestras con resultado positivo para estos parámetros, esto debido a que por cada muestra de agua analizada se le realizaron dos pruebas microbiológicas.

Tabla 7

Frecuencia de muestras de la red domiciliar con ausencia o presencia de Coliformes Totales y E. coli durante la época seca del 2019.

	¹ C. T.	² <i>E. coli</i>	³ S. C.	Total de número de muestras
Zona 1	0	0	4	4
Zona 2	0	0	4	4
Zona 3	0	0	4	4
Zona 4	0	0	4	4
Zona 5	2	2	2	4
Total	1	1	18	20
%	0.05	0.05	99.9	100

¹Número de muestras positivas para Coliformes Totales.

²Número de muestras positivas para *E. coli*.

³Muestras sin contaminación.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

En la tabla 8 se describen los resultados obtenidos en el muestreo de septiembre (época lluviosa), se está relacionando la presencia de Coliformes Totales y *E. coli*; tomando nuevamente como base los criterios microbiológicos de la norma COGUANOR NTG 29001 2013, el 99.9% de las muestras cumplen con la normativa, y en la zona 5 sigue prevaleciendo la presencia de microorganismos, presentando un 0.05% de contaminación fecal, indicando que el agua distribuida en esa zona no es apta para consumo humano. Nótese que en el resultado total de C.T. y *E. coli*, se obtuvo un total de 1, pero en el informe del pozo 5 se reportaron dos muestras con resultado positivo para estos parámetros, esto debido a que por cada muestra de agua analizada se le realizaron dos pruebas microbiológicas.

Tabla 8

Frecuencia de muestras de la red domiciliar con ausencia o presencia de Coliformes Totales y E. coli durante la época lluviosa del 2019.

	¹ C. T.	² <i>E. coli</i>	³ S. C.	Total de Número de Muestras
Zona 1	0	0	4	4
Zona 2	0	0	4	4
Zona 3	0	0	4	4
Zona 4	0	0	4	4
Zona 5	2	2	2	4
Total	1	1	18	20
%	0.05	0.05	99.9	100

¹Número de muestras positivas para Coliformes Totales.

²Número de muestras positivas para *E. coli*.

³Muestras sin contaminación.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

Se presentan las concentraciones de cloro residual total y libre de las muestras tomadas de los distintos tanques de agua potable, los valores de cloro residual libre sobrepasan la concentración de 1.0 mg/L; que es el LMP establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, estos resultados demuestran una dosis elevada de cloro en los tanques de agua.

Tabla 9

Determinación de cloro residual total y libre en tanques de agua potable.

Fuente	Época seca		Época lluviosa		Norma COGUANOR NTG 29001 Cloro Libre
	Cloro Total *mg/L	Cloro Libre mg/L	Cloro Total mg/L	Cloro Libre mg/L	
	Tanque de almacenamiento, Red Baja	3.2	2.0	4.8	
Tanque de distribución, Red Baja	3.2	2.0	4.8	2.2	0.5 – 1.0 mg/L
Tanque de distribución, Red Media	3.4	2.4	2.6	1.2	
Si cumple con la Norma		0 (0 %)		0 (0 %)	
No cumple con la Norma		3 (100 %)		3 (100 %)	
Total		3 (100 %)		3 (100%)	

*mg/L: miligramo por litro.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

Se observa que únicamente el 75% de las muestras de agua potable, a las que se le midió la concentración de cloro libre durante la época seca se encontraron dentro de los límites establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, en el caso de la época lluviosa, solamente el 70% de las muestras cumplieron la concentración de cloro establecida por la norma.

Tabla 10

Determinación de cloro residual total y libre en la red domiciliar.

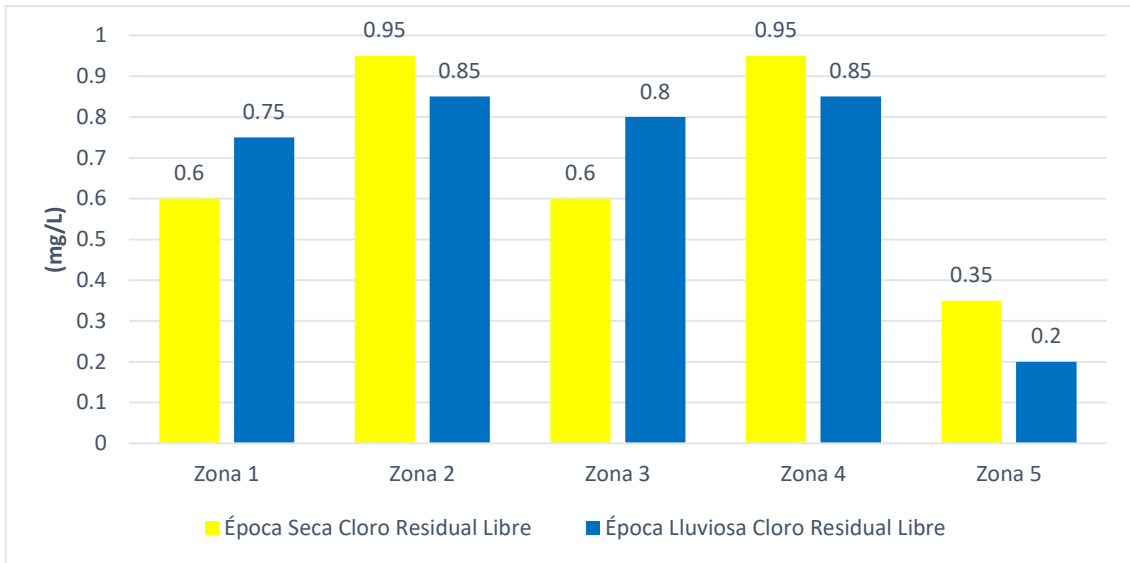
Fuente (Zona)	Época seca		Época lluviosa		NORMA COGUANOR NTG 29001 Cloro Libre
	Cloro Total	Cloro Libre	Cloro Total	Cloro Libre	
	*mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
1.1	2.0	0.6	0.4	0.0	
1.2	1.2	0.4	2.0	1.0	
1.3	1.2	0.6	2.0	1.0	
1.4	2.0	0.8	2.0	1.0	
2.1	2.4	1.0	1.2	0.6	
2.2	2.2	1.2	2.0	1.0	
2.3	1.6	0.6	1.6	0.8	
2.4	2.0	1.0	2.0	1.0	
3.1	1.6	0.6	1.2	0.4	
3.2	1.6	0.6	2.0	1.0	
3.3	1.2	0.4	2.0	1.0	0.5 – 1.0 mg/L
3.4	1.6	0.8	1.6	0.8	
4.1	2.4	1.0	1.2	0.6	
4.2	2.0	1.0	1.6	0.8	
4.3	2.4	1.0	1.6	0.8	
4.4	2.0	0.8	2.4	1.2	
5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
5.2	0.8	0.0	0.0	0.0	
5.3	1.2	0.6	0.4	0.0	
5.4	2.0	0.8	1.6	0.8	
Si Cumple con la Norma		15 (75 %)		14 (70 %)	
No Cumple con la Norma		5 (25 %)		6 (30 %)	
Total		20 (100%)		20 (100 %)	

*mg/L: miligramo por litro.

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

Figura 3

Promedio de concentración de cloro residual total y libre en las zonas que forman la zona urbana de San Marcos.



Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR).

La Figura 3 hace un comparativo de los promedios de concentración de cloro residual, los cuales se obtuvieron en el período de investigación; se puede observar que únicamente la zona 5 no cumple con la concentración de cloro establecida por la norma (0.5-1.0 mg/L). Este problema se presentó para la época seca y lluviosa, debido a que esos resultados se encuentran por debajo del LMA, el agua que se distribuye en esa zona no es apta para consumo humano.

IX. DISCUSIÓN

La contaminación de aguas residuales de origen doméstico, agrícola, el crecimiento poblacional, la descarga de aguas servidas y la contaminación por desechos sólidos, amenazan a los elementos naturales hídricos, convirtiéndolos en un foco de infección para enfermedades transmitidas por la misma (Olivas, et. al, 2013). Esta investigación, se enfocó en el análisis microbiológico y fisicoquímico del agua en: pozos, tanques y red domiciliar de la cabecera departamental de San Marcos, y se determinó el cumplimiento de algunos parámetros de la norma COGUANOR NTG 29001 2013. Se colectaron un total de 56 muestras de agua (28 muestras durante la época seca y 28 durante la época lluviosa).

Según lo establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, el agua para consumo humano, debe estar libre de Coliformes Totales y *E. coli* (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013). Con base a los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua, en la tabla 4 se puede constatar, que el agua de pozos y tanques que abastecen la cabecera departamental de San Marcos, desde el punto de vista microbiológico, se considera apta para consumo humano, al presentar concentraciones menores a 1.8 NMP/100 mL; estos datos indican que el agua es bacteriológicamente segura.

Los resultados en la tabla 4, se pueden asociar con los datos de la tabla 6, donde ambos resultados demuestran que se cumple el 100% de los parámetros microbiológicos de la norma, tanto para la época seca como lluviosa. Por lo tanto, como no existen agentes microbianos indicadores de contaminación en el agua, se puede asegurar que no hay contaminación fecal en estos puntos.

Los resultados microbiológicos obtenidos de pozos y tanques, concuerdan con el estudio más reciente de agua, que se realizó en San Marcos durante el año 2018, a cargo de EMAPS (Empresa Municipal de Agua Pública y Saneamiento) y USAID (Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional), cuya función de estas organizaciones, es “velar para que se aumente la calidad del agua potable a nivel urbano; promoviendo e implementando acciones, mecanismos y herramientas para el fortalecimiento de capacidades locales” (USAID, 2018).

Estas entidades reportaron que para el año 2018, en los dos muestreos que realizaron en pozos y tanques; los resultados del monitoreo microbiológico se encontraban dentro del LMA y LMP de los estándares de la normativa guatemalteca. EMAPS ha velado para que en los pozos y tanques, no existan fuentes potenciales de contaminación que afecten los recursos hídricos; esto lo ha logrado al “evaluar frecuentemente el estado físico de la estructura de pozos y tanques, mejorar las condiciones del entorno, eliminación de cunetas de desviación de aguas superficiales, creación de cercos perimetrales y existencia de drenajes de aguas” superficiales (USAID, 2018).

Algo importante de mencionar es la longitud total de la línea, “que conduce el caudal de nacimiento desde los pozos hacia los tanques; la cual está conformada por 16.92 km”, de los cuales en el último año fueron remplazados 8 km de tuberías. Las tuberías se encontraban afectadas desde el año 2005 a raíz de la tormenta “Stan”. Como parte del mantenimiento y asegurar la calidad del agua, para librarla de diversos contaminantes, se hizo necesario este cambio; obteniendo un nivel de desempeño medio, otorgado por el diagnóstico del Estado de la Gestión Urbana del Agua (USAID, 2018).

La tabla 5, demuestra la concentración de microorganismos obtenidos por la metodología de número más probable en las muestras de agua de la red domiciliar, utilizando el test binomial de probabilidades asociado con valores pequeños, se obtuvo una calidad microbiológica del 99.9%, donde 18 muestras de un total de 20, presentaron ausencia de Coliformes Totales y *E. coli*; en las dos muestras restantes hubo ausencia total en la concentración de cloro residual, permitiendo el crecimiento de microorganismos, éstos datos se pueden observar en las tablas 7 y 8.

La información más relevante que presentan las tablas 7 y 8, es el porcentaje de contaminación de agua en la zona 5. El agua suministrada a esta zona, está a cargo del tanque Red Asunción, por cuestiones de logística no se pudo muestrear; sin embargo en estudios anteriores, esta zona siempre ha sido la más afectada desde el punto de vista microbiológico. La contaminación fecal que se da en esta zona, “puede provocar que los organismos presentes causen infecciones de tipo gastrointestinal, al momento de beber, preparar los alimentos o el contacto durante el baño”. (Romero, 2009)

Una de las causas por la que existe contaminación en la zona 5, es debido a que el tanque de distribución Red Asunción, no cuenta con circulación perimetral, por lo que sus componentes se encuentran vulnerables; pero principalmente y una de las causas más preocupantes, es que este tanque “presenta daños moderados, tanto su estructura (grietas), como en la tubería de distribución que conduce a la red domiciliar” (USAID, 2018).

Además “la tubería se encuentra localizada muy superficialmente, permitiendo que se de contaminación con aguas negras de pozos sépticos, localizados alrededor de esta zona” (USAID, 2018). Rock y Rivera, confirman este problema de contaminación y también añaden que durante la época lluviosa se incrementa la concentración de Coliformes Totales y *E. coli*, debido al arrastre de éstos microorganismos, los cuáles “viajan por medio de ríos, arroyos, lagos o agua subterránea, que llegan hasta los sistemas de almacenamiento y distribución de agua” (Rock y Rivera, 2014).

En la tabla 9, se describen las concentraciones de las distintas formas de cloro, que se analizaron en las muestras de agua de los tanques; “el cloro ha sido la sustancia más utilizada como desinfectante para el agua de consumo desde 1902”. (Aquagest, 2015). La norma COGUANOR NTG 29001 2013, se enfoca en las concentraciones establecidas para el cloro residual libre, “que es la sustancia que se queda en el agua, encargándose de eliminar organismos causantes de enfermedad” (Aquagest, 2015).

“Los sistemas de cloración, encargados de distribuir el cloro residual libre, aseguran que el agua cuente con un sistema de desinfección antes de su uso y proteger al consumidor de agentes patógenos, o impurezas que pueden resultar desagradables y perjudiciales para la salud” (de Vargas, 2004).

Al observar los resultados de cloro total en la tabla 9, las concentraciones en la época seca oscilan entre 3.2 a 3.4 mg/L y la época lluviosa de 2.6 a 4.8 mg/L. La norma COGUANOR NTG 29001 2013, no toma en cuenta este parámetro, únicamente el cloro residual libre. El motivo del aumento en la concentración de cloro total en los tanques, es para asegurar la concentración adecuada en los puntos más lejanos de la red de distribución domiciliar; para que se “mantenga el efecto de cloro residual en el agua, y pueda destruir los microorganismos patógenos” (OMS, 2009); pero en el caso de los

tanques de agua en San Marcos, existe una prevalencia alta en la concentración de esta sustancia.

La OMS en estudios de agua, ha comprobado que al agregarse “concentraciones de cloro total de 1.5 mg/L, no se está desinfectando el agua; con concentraciones de 2.0 mg/L de cloro total, se pueden destruir microorganismos en el agua, pero no se puede combatir una futura contaminación; pero si se agrega una concentración de cloro total de 2.5 mg/L, se obtiene la eliminación de microorganismos y una concentración de cloro libre de 0.5 mg/L”, dándole protección al agua para combatir futuras contaminaciones (OMS, 2009).

De todas las muestras analizadas en los tanques, el 100% de ellas indican que no se está cumpliendo con la norma COGUANOR NTG 29001 2013, respecto a la concentración de cloro residual permitida (0.5 – 1.0 mg/L); existiendo una elevada dosis de cloro que sobrepasa el LMP permitido por la norma. A pesar que existe un sistema de cloración en el sistema urbano de abastecimiento de agua, donde se maneja gas cloro en todos los tanques como método para la desinfección del agua; los resultados del monitoreo indican concentraciones de cloro elevadas. Entre las posibles causas a esta problemática se encuentra que el “sistema de cloración existe, pero está funcionando parcial o intermitentemente y no se siempre se cuentan con los insumos” (USAID, 2018).

Con los resultados de cloro en los tanques, que sobrepasan el doble de concentración permitido por la norma, la OMS señala que “por estas concentraciones no hay porque alarmarse, solo mantener monitoreos constantes; ya que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable”. No obstante, establece un valor guía máximo de cloro libre de 5 mg/L, y “afirma explícitamente que se trata de un valor conservador” (OMS, 2002).

En cuanto a la red domiciliar, la tabla 10 demuestra que durante la época seca, solo el 75% de los hogares se les estaba abasteciendo con agua clorada, y para la época lluviosa un 70%; el porcentaje restante presenta ausencia de concentración de cloro residual libre, afectando específicamente a la población de la zona 5; en el resto de zonas, donde se presentaba la acción del cloro residual libre, había ausencia de microorganismos de origen fecal, distribuyéndose agua apta para consumo humano.

Si se vuelven a retomar los datos obtenidos en las tablas 7 y 8, existe una relación entre el crecimiento de Coliformes Totales y *E. coli*, con la ausencia de cloro residual libre que se presentaban en la red domiciliar de la zona 5. Debido al crecimiento de estos microorganismos, se reportó un 0.05% de contaminación, afectado la calidad microbiológica del agua. “Con la ausencia de concentración de cloro residual en el agua de estos hogares, no se puede dar la eliminación de bacterias de origen fecal y por lo tanto no es seguro consumir el agua” (USAID, 2018).

Una explicación al porque se obtuvo una concentración de cloro residual de 0 mg/L, en algunos hogares de la zona 5 de San Marcos, es por la hora de toma de muestras, ya que la “cantidad de cloro residual cambia durante el día y la noche” (USAID, 2018); si se asume que la red de tuberías está bajo presión todo el tiempo, que fue el caso de esta zona donde el agua se distribuye en un rango de 11 a 20 horas, existe una tendencia a que haya más cloro residual libre en el sistema durante la noche que en el día. “Esto sucede porque el agua permanece en el sistema más tiempo durante la noche, cuando la demanda es menor, y por esta razón, existe una mayor oportunidad para que el agua contaminada consuma el cloro residual” (USAID, 2018).

Luego en la Figura 3, se hace un comparativo entre las concentraciones de cloro libre en la red de distribución domiciliar. Durante el periodo de muestreo, la mayoría de concentraciones de las distintas zonas que conforman la cabecera departamental, se encontraron dentro del LMA y LMP de los estándares de la normativa, a excepción de la zona 5, donde el rango se encontró por debajo del LMA.

Al comparar el estudio realizado por EMAPS, con respecto a la concentración de cloro residual, se puede deducir que el problema persiste, ya que el estudio del 2018 indicó que no se estaba cumpliendo con la concentración de cloro indicada por la norma. Los resultados de este parámetro fueron deficientes para la época seca y lluviosa, especialmente en el tanque Red Baja, donde la concentración de cloro residual fue de 0 mg/L. “Se recomendó que se implementaran metodologías, en donde se midiera diariamente los rangos de presencia de cloro residual”; esto con el objetivo de permitir el control y seguimiento adecuado de operación y mantenimiento de los sistemas de cloración en los próximos años (USAID, 2018). Con respecto al 2019, el EMAPS estableció un control semanal para monitorear las concentraciones de cloro en los tanques

de agua, el personal a cargo de esta tarea indicaba que era muy difícil realizar este procedimiento por la escasa cantidad de equipos y reactivos proporcionados por las autoridades correspondientes. Al entregar los resultados de esta investigación al EMAPS, se hizo énfasis en esta problemática y se les recomendó nuevamente que se implementaran monitoreos diarios para la medición de cloro. Para corroborar si atendieron a la sugerencia, sería necesario volver a monitorear la concentración de cloro en todos los tanques

Finalmente, con la información brindada por los dos muestreos, se puede hacer un análisis desde dos perspectivas diferentes; al analizar la parte estadística, se está obteniendo una calidad microbiológica de 99.9%, considerándose alta, y un valor de 0.05% de contaminación, que se puede tomar como poco relevante; pero si se hace énfasis, desde el punto de vista epidemiológico, el 0.05% representa una zona conformada por más de 15000 personas, que pueden padecer enfermedades gastrointestinales por el consumo de agua contaminada.

Al consultar el boletín epidemiológico para San Marcos, del 2018 hasta mayo del 2019, no se reportaban casos de rotavirus, “que ocupa el 0.2% de todas las enfermedades transmitidas por agua y alimentos; afectando principalmente el sistema gastrointestinal” (Departamento de Epidemiología, 2018-2019). La causa que no se reporten estos tipos de caso, es debido a que “las personas que viven en el mismo lugar durante toda su vida y consumen regularmente agua contaminada, pueden volverse resistentes a los contaminantes y sufrir pocos problemas de salud o ninguno” (OMS, 2009).

Con toda la información recopilada en esta investigación, se puede obtener una idea de la calidad de agua potable que se está distribuyendo en la cabecera departamental de San Marcos. Desde el punto de vista microbiológico, los resultados de las muestras obtenidas durante las distintas épocas indican que se está cumpliendo con la norma, obteniendo una calidad microbiológica del 99.9%, existen pequeñas debilidades por parte del desempeño de la Empresa Municipal de Agua, que presentan inconvenientes a los usuarios, pero se pueden realizar las acciones para el mejoramiento del servicio.

Partiendo del único parámetro fisicoquímico evaluado, no se está cumpliendo con lo que demanda la norma, con respecto a la concentración de cloro, ya que se está violando

el rango establecido por el LMA y LMP, mostrando un desempeño bajo en esta área, pero como se mencionaba en la evaluación terminal del análisis microbiológico, son aspectos que debe mejorar la institución, por medio de programas que mejoren el funcionamiento y servicio de agua potable que se distribuye.

X. CONCLUSIONES

1. El tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos por la metodología de Número más probable, demostró que los pozos y tanques de la cabecera departamental de San Marcos obtuvieron un 100% de calidad microbiológica; en cuanto a la red de distribución domiciliar presentó un 99.9% de calidad microbiológica.
2. La concentración de cloro residual libre en los tanques, superó el LMP establecido por la norma COGUANOR NTG 29001 2013; en el caso de la red domiciliar, la zona 5 de San Marcos, fue la única en presentar concentraciones de cloro residual libre por debajo del LMA determinado por la norma.
3. Al evaluar los resultados obtenidos del análisis microbiológico y fisicoquímico de los pozos, tanques y red de distribución domiciliar, con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, se concluye que el agua distribuida en la cabecera departamental de San Marcos es apta para consumo humano.

XI. RECOMENDACIONES

1. Es importante que la municipalidad de San Marcos, implemente las mejoras de los planes, proyectos y programas para mejorar el funcionamiento y trabajo de la infraestructura de los tanques, que se encargan del almacenamiento y distribución de agua potable.
2. Realizar muestreos de agua potable durante meses consecutivos, en las zonas que presentaron un resultado positivo para Coliformes Totales y *E. coli*, dependiendo del resultado obtenido, implementar las acciones necesarias para la mejora del servicio.
3. Realizar monitoreos diarios de cloro residual en los tanques, hasta asegurarse que el proceso de desinfección se esté llevando de manera adecuada, bajo las concentraciones establecidas por la norma COGUANOR NTG 29001 2013, después de llevar a cabo esta acción, se recomienda hacer como mínimo un muestreo semanal.
4. En las zonas donde hay deficiencias de cloro residual libre, verificar siempre que el sistema de desinfección asignado a esa zona se esté llevando de manera eficiente en el tanque.
5. Se recomienda realizar un estudio de evaluación de todas las tuberías que conforman la red de distribución domiciliar de agua, acción que permitirá establecer el estado físico, y verificar si estas son las responsable de la contaminación microbiológica que se está dando en el agua potable que llega a los hogares.

XII. REFERENCIAS

Acuerdo Ministerial No. 523-2013. *Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano*. Guatemala. 3 de Octubre de 2013. pp. 2-4.

Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional –USAID-. (2018). *Diagnóstico del estado de la gestión urbana del agua y mapeo de actores, y plan de sostenibilidad de agua*. Proyecto USAID Nexos Locales. Guatemala. pp. 20-32.

APHA, AWWA y WEF. (2017). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. EE.UU.: Editorial Board.

Aquagest. (2018). *Cloro Residual*. Universidad de Murcia: España. Recuperado de: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>.

Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S. y Gómez, A. (2005, Octubre 9). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Revista Nova*. 3(4), 74. Recuperado de: www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf.

Arizona Department of Environmental Quality. (2010). *Water Quality*. Recuperado de: www.azdeq.gov/environ/water/index.html.

Asociación Mundial para el Agua -GWP-. (2015). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Hacia una Gestión Integrada*. GWP Centroamérica. Guatemala p. 17.

Ayme, J. (2011). *Determinación de calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Ayres, G. (1998). *Análisis Químico Cuantitativo*. México: Harla. p. 240.

Baldursson, S. y Karanis, P. (2015, Diciembre 15). Transmisión de protozoos y parásitos en agua: Revisión de brotes en todo el mundo. *Revista Agua*. 45(20), 54. Recuperado de: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22048017.

Barahona, L. (2017). *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*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Basan, N., Gallo, L., Zamar, S. y Rosas, D. (2011). *Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples: consumo humano, abrevado animal y riego*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. pp. 1-4. Recuperado de: www.inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf.

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe – CATHALAC-. (2008). *Análisis de la vulnerabilidad futura de los recursos hídricos al cambio climático. Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centro América, México y Cuba*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 115 p.

Cervantes, S. (2004). *Evaluación de la calidad del agua potable de Guastatoya cabecera departamental, El Progreso*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR - (2013). *Agua para consumo humano (agua potable). COGUANOR NTG 29001*. Guatemala: Ministerio de Economía. pp. 3-7.

Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR - (2011). *Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades. COGUANOR NTG 29006*. Guatemala: Ministerio de Economía. pp. 11-15.

Coutiño, R., Rodríguez, E., Pérez, A., Gutiérrez, E. y López, F. (2008, Agosto 27). Bacterias transmitidas por agua y alimentos que producen enfermedades. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 2(21), 72. Recuperado de: www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol21num2/articulos/bacterias.

Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. (2000). *Evaluación de Recursos de Agua en Guatemala*. Guatemala: Distrito de Mobile y Centro de Ingeniería Topográfica. p. 43.

Delgado, C., Fall, C., Quentin, E., Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma del Estado de México ... Centro Interamericano de Recursos del Agua. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas: Indicadores de Contaminación fecal en aguas*. México: Editorial Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. pp 224 – 225. Recuperado de: tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf.

Departamento de Epidemiología. (2018). *Situación Epidemiológica en Guatemala 2018*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. p. 2.

Departamento de Epidemiología. (2018-2019). *Boletín de la Semana Epidemiológica No. 5*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. p. 10.

De Vargas, L. (2004). *Tratamiento de aguas para consumo humano: Procesos unitarios y Plantas de Tratamiento*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). pp. 105 – 109.

García, M. (2009). *Biología y Ecología: Escasez de Agua*. España: CEN Oposiciones.

García, M., Martínez, F., Utrilla, A., Morillo, R., Ania, J., Castilla, M., ... Caballero, A. (2006). *ATS/DUE Personal Laboral de la Comunidad Autónoma de Extremadura, Temario Específico*. Sevilla, España: Editorial Mad. p. 599.

García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzman, H., Verdugo, N., Domínguez, E... Cortés, G. (2010). *El medio ambiente en Colombia: El Agua*. Recuperado de: documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf. pp. 93-97.

Gramajo, B. (2004). *Determinación de la calidad de agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de los pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Guzmán, L. (2012). *Responsabilidad del Estado de Guatemala ante la falta de Normativa que regule el uso de las Fuentes Hídricas en el País*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Rafael Landívar. Guatemala. p. 31.

Hernández, J. (2012). *Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

INE-Banguat / IARNA-URL (Instituto Nacional de Estadística, Banco de Guatemala e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2013). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Economía de Guatemala 2001-2010: compendio estadístico. SCAE 2001-2010*. Tomo I y II. Guatemala. p. 896.

Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2012). República de Guatemala: *Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2011*. Guatemala. pp. 33-37. Recuperado de: <https://ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/02/03/bWC7f6t7aSbEI4wmuExoNR0oScpSHKyB.pdf>

Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2015). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*. Guatemala. pp. 42-45.

Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2019). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda, Principales Resultados Censo 2018: Población Total por Grupos de Edad*. Guatemala. Recuperado de: <https://www.censopoblacion.gt/documentacion>.

Merck, M. (2014). *Chromocult Agar para coliformes: Detección simultánea de bacterias coliformes y E. coli en el agua*. EE.UU.: Editorial Board. p. 2.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN-. (2011). *Manual de Educación Ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. Recuperado de: www.marn.gov.gt/Multimedios/7419.pdf. p. 23.

Moreno, F. y López, R. (1991). *Adiestramiento para la prevención y control de las enfermedades gastrointestinales en el sector agua: Determinación de Cloro Residual*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. p. 7.

Morente, D. (2010). *Diagnóstico Socioeconómico, Potencialidades Productivas y Propuestas de Inversión, Municipio de San Marcos, Departamento de San Marcos*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. pp. 1-2.

Ministry of Supply and Services Canada. (1993). *US Government*. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: www.uach.cl/proforma/insitu/2_insitu.pdf.

Olivas, A., Tovar, J., Mancilla, O., Magdaleno, H. y Ramírez, C. (2013, Mayo 15). Calidad Microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmosfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México. *Revista Internacional de contaminación ambiental*. 29(2), 167-175

Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2002). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS.

Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS.

Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2009). *Medición del cloro residual en el agua*. Ginebra: OMS.

Pajares, M. y Orlando, E. (2002). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima*. Metropolitana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Perú. pp. 9 - 12.

Pensamiento, J. (2011). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. p. 12.

Ramos, F. (2006). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. pp. 8 – 11

Redondo, M. y Arias, M. (2011). Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *Cuaderno de Investigación UNVED*. 3(2), 219-225.

Ríos, S., Agudelo, M. y Gutiérrez, L. (2017, Mayo/Agosto 2). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2(35), 240. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08.

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

Roldán, A. (2006). *Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye en la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Antioquía, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía. pp. 376 – 379.

Romero, J. (2009). *Calidad del agua*. México: Alfa Omega. p.350.

Saravia, P. (2007). *Contaminación del agua*. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Facultad de Ingeniería. USAC. Guatemala: Editorial Universitaria.

Sarceño, E. (2007). *Evaluación del sistema que alimenta agua tratada a las máquinas de hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen insuficiencia renal*. (Tesis de Postgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Secretaría de Planificación y Programación –SEGEPLAN-. (2015). *Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. pp. 11-13.

Secretaría de Planificación y Programación –SEGEPLAN- y Consejo Municipal de Desarrollo. (2010). *Plan de Desarrollo Municipio San Marcos, San Marcos*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. p. 9.

Seguí, L. (2004). *Sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales. Metodología para el análisis técnico-económico y casos*. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya. España. p. 28.

Solórzano, R. (2004). *Determinación de la calidad de agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento La Carbonera, municipio de Sanarate, departamento El Progreso*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

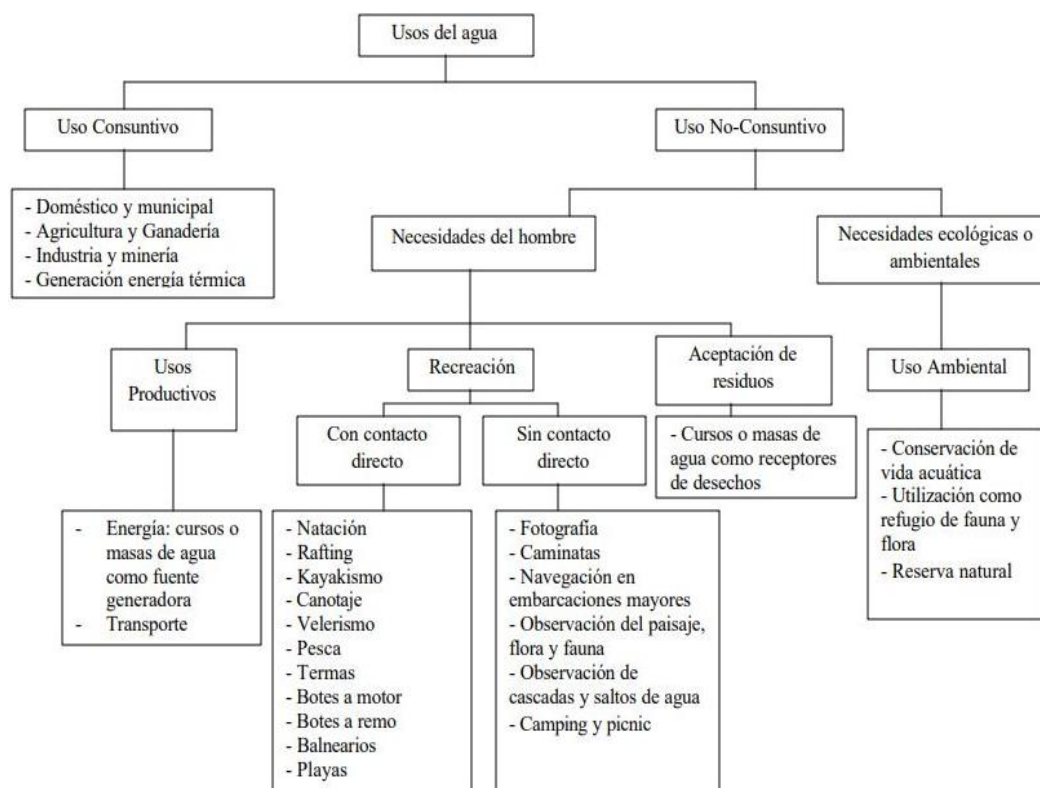
Turégano, J. (2014). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Islas Canarias, España: Recursos Educativos Digitales.

Valenzuela, A. y San Martín, J. (1994). *Clasificación de las aguas mineromedicinales. En: "Curas Balnearias y Climáticas". Talasoterapia y Helioterapia*. Madrid, España: Editorial Computense. p. 2.

Zanotti, P. (2005). *Determinación de la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano que se suministra a la población del municipio de Palín, Escuintla*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

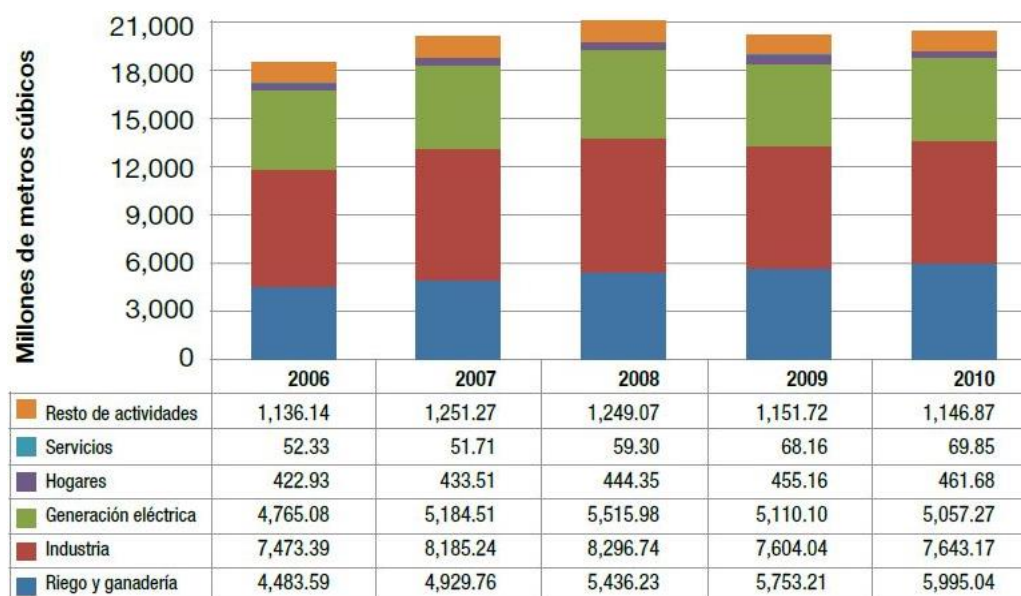
XIII. ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de usos del agua.



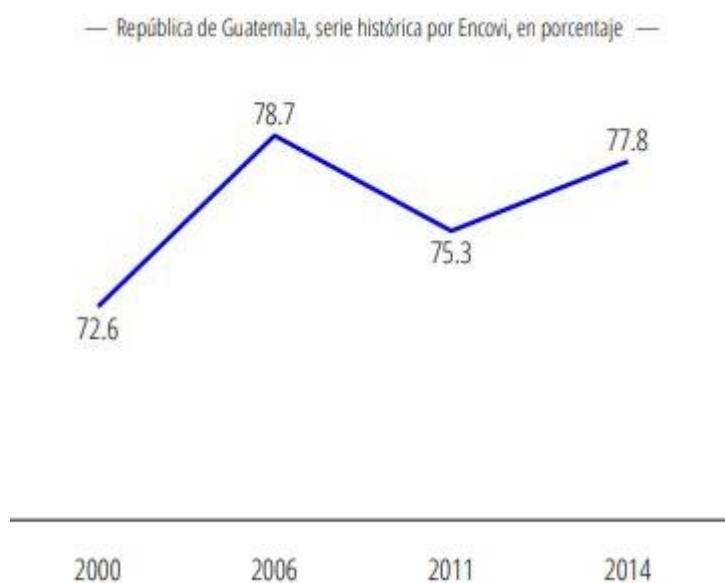
Fuente: Ministry of Supply and Services, 1993.

Anexo 2. Consumo anual de agua en Guatemala comprendido del año 2006 al 2010



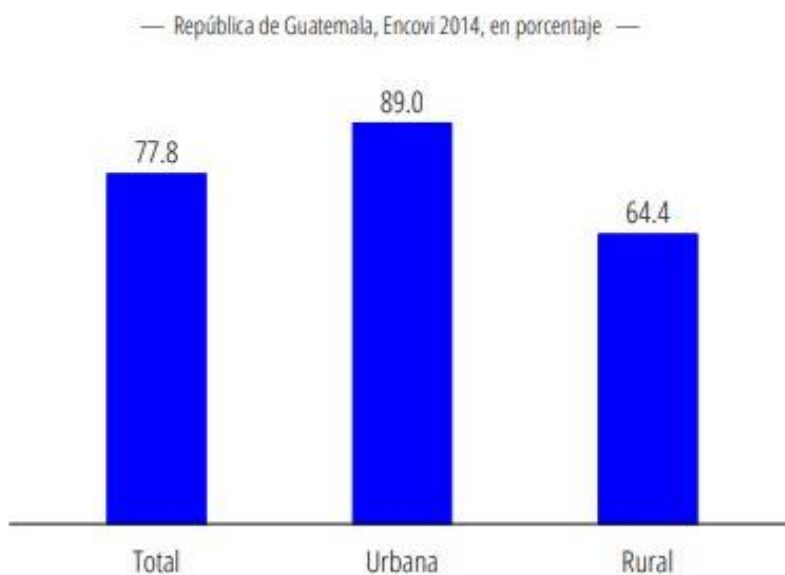
Fuente: INE-Banguat / IARNA-URL, 2013.

Anexo 3. Proporción de la población con acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable durante los años 2000 al 2014.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2015.

Anexo 4. Proporción de la población con acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable según el área de residencia durante el año 2014.



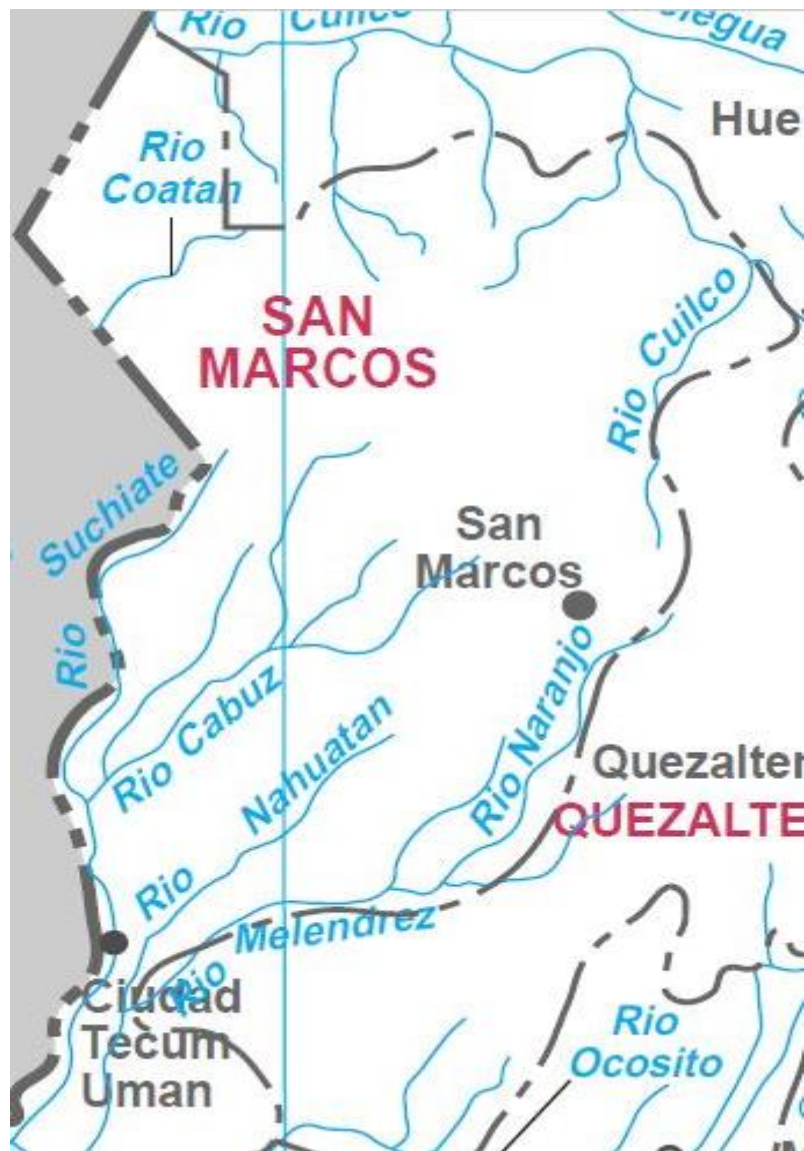
Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2015

Anexo 5. Tabla con valores de concentración empleados en la tabla estadística NMP.

Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza		Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza	
				Inferior	Superior					Inferior	Superior
0	0	0	< 1.8	-	6.8	4	0	3	25	9.8	70
0	0	1	1.8	0.090	6.8	4	1	0	17	6.0	40
0	1	0	1.8	0.090	6.9	4	1	1	21	6.8	42
0	1	1	3.6	0.70	10	4	1	2	26	9.8	70
0	2	0	3.7	0.70	10	4	1	3	31	10	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	1	26	9.8	70
1	0	0	2.0	0.10	10	4	2	2	32	10	70
1	0	1	4.0	0.70	10	4	2	3	38	14	100
1	0	2	6.0	1.8	15	4	3	0	27	9.9	70
1	1	0	4.0	0.71	12	4	3	1	33	10	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	2	39	14	100
1	1	2	8.1	3.4	22	4	4	0	34	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	1	40	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	2	47	15	120
1	3	0	8.3	3.4	22	4	5	0	41	14	100
1	3	1	10	3.5	22	4	5	1	48	15	120
1	4	0	10	3.5	22	5	0	0	23	6.8	70
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	1	31	10	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	2	43	14	100
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	3	58	22	150
2	1	0	6.8	1.8	17	5	1	0	33	10	100
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	1	46	14	120
2	1	2	12	4.1	26	5	1	2	63	22	150
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	3	84	34	220
2	2	1	12	4.1	26	5	2	0	49	15	150
2	2	2	14	5.9	36	5	2	1	70	22	170
2	3	0	12	4.1	26	5	2	2	94	34	230
2	3	1	14	5.9	36	5	2	3	120	36	250
2	4	0	15	5.9	36	5	2	4	150	58	400
3	0	0	7.8	2.1	22	5	3	0	79	22	220
3	0	1	11	3.5	23	5	3	1	110	34	250
3	0	2	13	5.6	35	5	3	2	140	52	400
3	1	0	11	3.5	26	5	3	3	170	70	400
3	1	1	14	5.6	36	5	3	4	210	70	400
3	1	2	17	6.0	36	5	4	0	130	36	400
3	2	0	14	5.7	36	5	4	1	170	58	400
3	2	1	17	6.8	40	5	4	2	220	70	440
3	2	2	20	6.8	40	5	4	3	280	100	710
3	3	0	17	6.8	40	5	4	4	350	100	710
3	3	1	21	6.8	40	5	4	5	430	150	1100
3	3	2	24	9.8	70	5	5	0	240	70	710
3	4	0	21	6.8	40	5	5	1	350	100	1100
3	4	1	24	9.8	70	5	5	2	540	150	1700
3	5	0	25	9.8	70	5	5	3	920	220	2600
4	0	0	13	4.1	35	5	5	4	1600	400	4600
4	0	1	17	5.9	36	5	5	5	>1600	700	-
4	0	2	21	6.8	40						

Fuente: APHA, AWWA, y WEF, 2017

Anexo 6. Ilustración de la hidrografía del departamento de San Marcos



Fuente: Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, 2000

Anexo 7. Cifras de probabilidades asociado con valores pequeños

<i>N</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>
4	062	312	688	938	1.0													
5	031	188	500	812	969	1.0												
6	016	109	344	656	891	984	1.0											
7	008	062	227	500	773	938	992	1.0										
8	004	035	145	363	637	855	965	996	1.0									
9	002	020	090	254	500	746	910	980	998	1.0								
10	001	011	055	172	377	623	828	945	989	999	1.0							
11		006	033	113	274	500	726	887	967	994	999+	1.0						
12		003	019	073	194	387	613	806	927	981	997	999+	1.0					
13		002	011	046	133	291	500	709	867	954	989	998	999+	1.0				
14		001	006	029	090	212	395	605	788	910	971	994	999	999+	1.0			
15			004	018	059	151	304	500	696	849	941	982	996	999+	999+	1.0		
16			002	011	038	105	227	402	598	773	895	962	989	998	999+	999+	1.0	
17			001	006	025	072	166	315	500	685	834	928	975	994	999	999+	999+	1.0
18			001	004	015	048	119	240	407	593	760	881	952	985	996	999	999+	999+
19				002	010	032	084	180	324	500	676	820	916	968	990	998	999+	999+
20				001	006	021	058	132	252	412	588	748	868	942	979	994	999	999+

Fuente: Departamento de Bioestadística/Facultad de Farmacia/USAC, 2019.

Anexo 8. Consentimiento informado



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Escuela de Química Biológica



Código: _____

Calidad Microbiológica y Concentración de Cloro Residual Libre y Total de Agua Potable en tanques de abastecimiento y distribución en la cabecera departamental de San Marcos, utilizando como indicadores de contaminación: Coliformes Totales y *Escherichia coli*.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

El tesista Jonathan Roblero de la carrera de Química Biológica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, está llevando a cabo un estudio sobre la calidad microbiológica del agua potable en la cabecera departamental de San Marcos utilizando pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en muestras de agua suministrada en la red doméstica de dicho departamento. Las personas que deseen participar deben de contestar el anexo 8 en el que se solicitan algunos datos generales acerca de su domicilio; posteriormente se tomará una muestra de agua para determinar la concentración de Cloro Residual Libre y Total y concentración de Coliformes Totales y *E. coli*. Este procedimiento no ocasiona daños a su salud ni a la vivienda y se realiza en poco tiempo. De igual manera le aseguré que no publicare su nombre o datos que lo identifiquen, ya que en ningún momento se utilizará el nombre de la persona en los informes de estudio. En cualquier momento usted tiene la libertad de abandonar el estudio, si así lo desea, ya que no habrá ningún tipo de perjuicio por la decisión que pueda tomar. Así mismo, su participación en el estudio no implicará ningún gasto para usted; ni se le pagará por participar. Dada la importancia de este estudio espero contar con su apoyo y participación, para cualquier duda o aclaración al respecto puede comunicarse con Jonathan Roblero Albisures, responsable del estudio al teléfono 48672675.

Yo, _____, me identifico con número de CUI _____ estoy de acuerdo en participar en este estudio. Entiendo que se me harán algunas preguntas generales acerca de mi domicilio. Con mi firma aseguro: (a) Que he leído o me leyeren el consentimiento en su totalidad. (b). Que he recibido respuesta a todas mis preguntas y dudas. (c) Que deseo participar voluntariamente en este estudio. (d) Que me puedo negar o retirarme cuando lo desee. (e) Que firmo el consentimiento voluntariamente.

Firma del participante

Firma del investigador

Anexo 9. Toma de muestra de agua en los pozos



Fuente: Datos Experimentales

Anexo 10. Toma de muestra de agua en los tanques de la cabecera departamental de San Marcos



Fuente: Datos Experimentales

Anexo 11. Toma de muestra de agua en la red domiciliar



Fuente: Datos Experimentales

Anexo 12. Medición de concentración de cloro residual total y libre



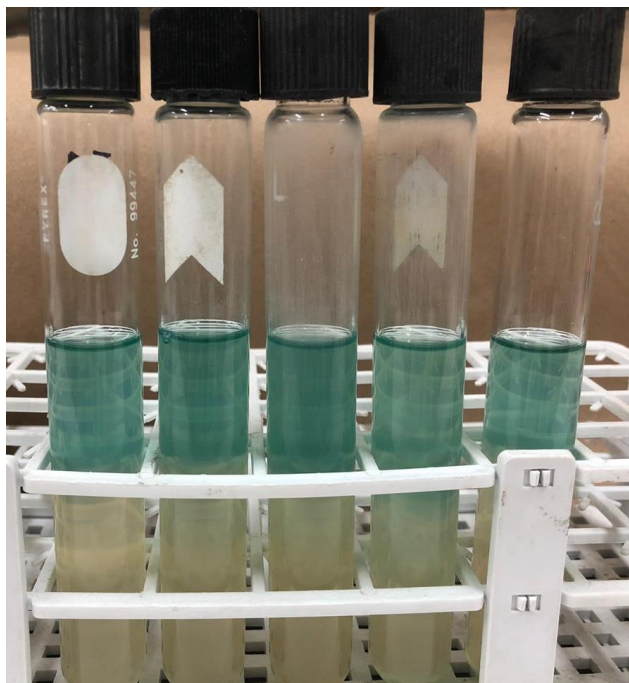
Fuente: Datos Experimentales

Anexo 13. Sistema de cloración utilizado en tanques de agua de San Marcos



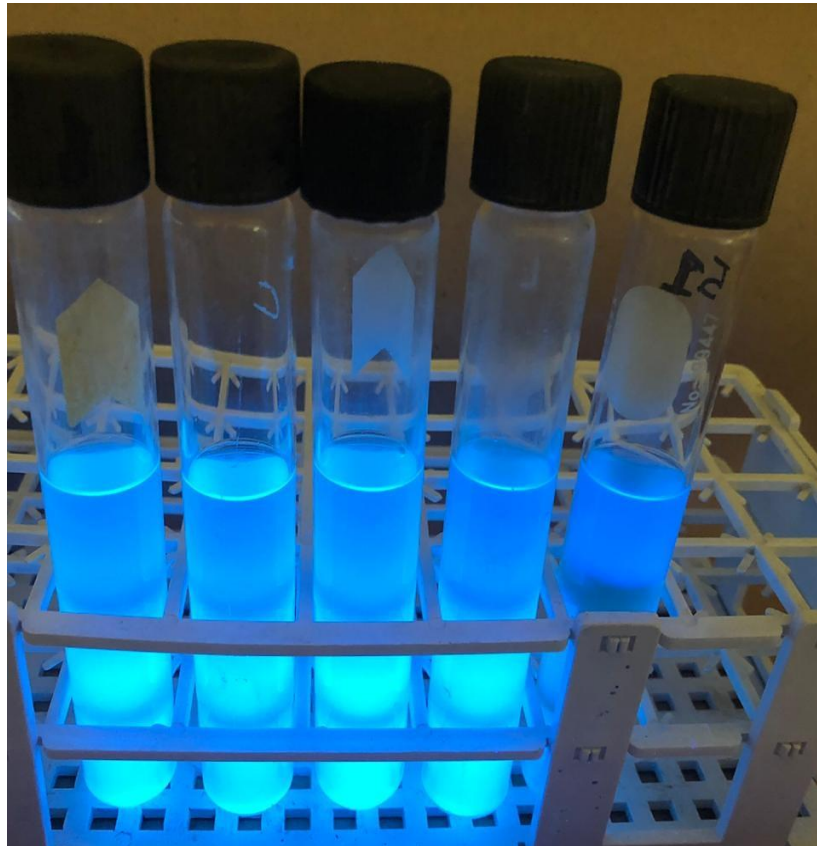
Fuente: Datos Experimentales

Anexo 14. Presencia de Coliformes Totales en Caldo LMX, viraje de coloración de amarillo a verde-azulado.



Fuente: Datos Experimentales

Anexo 15. Fluorescencia de *E. coli* en caldo LMX, confirmando la presencia de la bacteria en el medio de cultivo.



Fuente: Datos Experimentales

Br. Jonathan Antonio Roblero Albisures

Autor

M. Sc. Sergio Alfredo Lickes

Asesor

PhD. Karin Larissa Herrera

Revisora

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel

Director

Escuela Química Biológica

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

Decano

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia