

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

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a seated man in a red robe, likely a saint or scholar, holding a book. Above him is a golden dome with a cross. The seal is surrounded by Latin text: "CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CÆTERAS ORBIS AMERICÆ" at the top and "SCIENTIA" on banners held by two golden lions. The background of the seal shows a landscape with green hills and a volcano.

**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y
FISICOQUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE SE
DISTRIBUYE A LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE JOCOTENANGO
SACATEPÉQUEZ”**

Informe de Tesis

Presentado por:

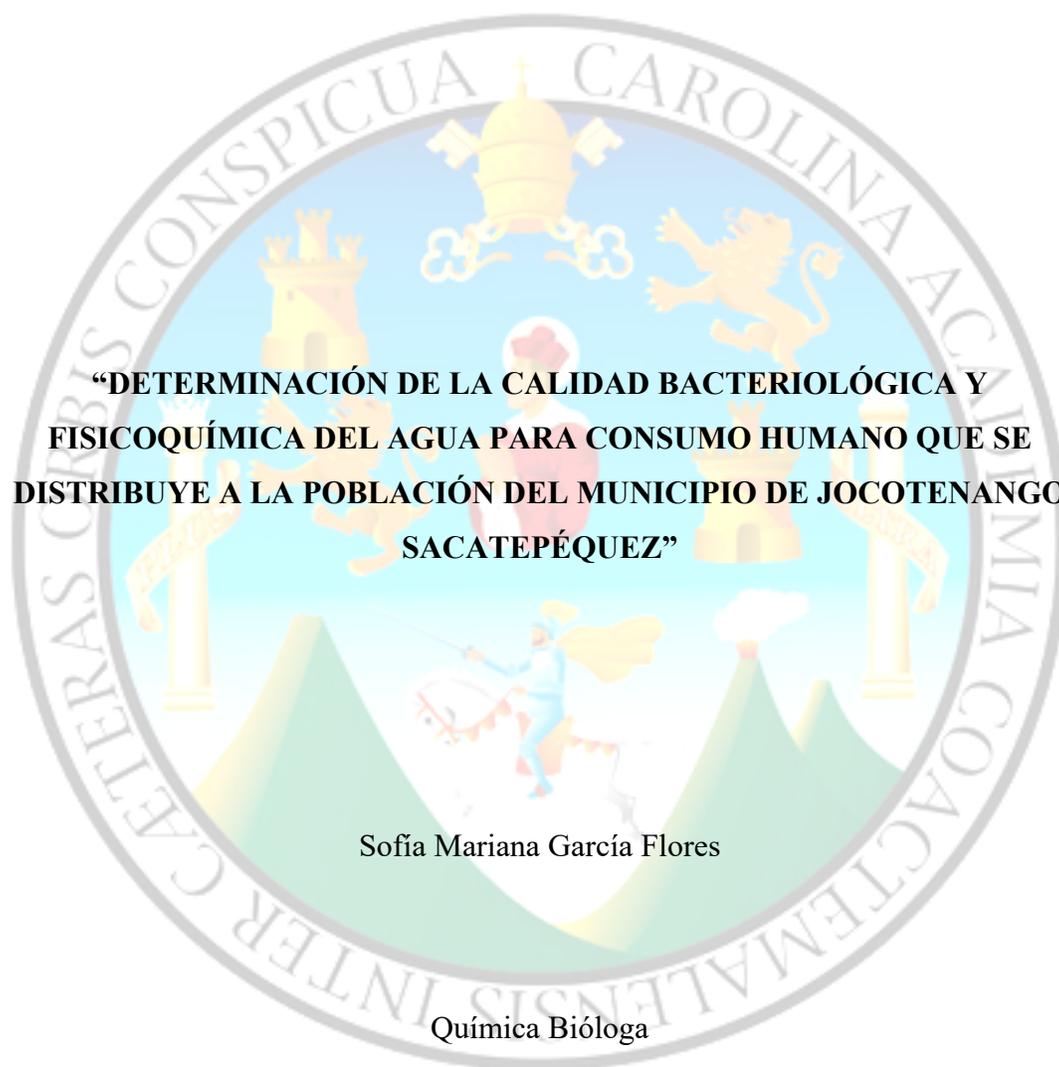
Sofía Mariana García Flores

Para optar al título de:

Química Bióloga

Guatemala, marzo de 2023

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



**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y
FISICOQUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO QUE SE
DISTRIBUYE A LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE JOCOTENANGO
SACATEPÉQUEZ”**

Sofía Mariana García Flores

Química Bióloga

Guatemala, marzo de 2023

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Decano en Funciones
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Carmen Amalia Rodríguez Ortiz	Vocal IV
Br. Paola Margarita Gaitán Valladares	Vocal V
Licda. Bessie Abigail Orozco Ramírez	Secretaria

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS

Por acompañarme, protegerme, iluminarme y darme la sabiduría a lo largo de mi carrera universitaria.

A JESÚS NAZARENO DE LA MERCED

Por escuchar cada una de mis oraciones y cumplir cada una de sus promesas en mi vida.

A MI MADRE

Norma Liseth Flores Morales de García, por todos tus sacrificios a lo largo de mi vida, por apoyarme sin medida, con amor y comprensión. Por estar siempre a mi lado y por creer en mí. Gracias por hacerme fuerte y por enseñarme, desde niña, que puedo lograrlo todo en la vida. Recibe este triunfo como muestra de mi agradecimiento.

A MI PADRE

Luis Alfonso García Morales, por su apoyo y esfuerzo incondicional, por motivarme a alcanzar mis sueños y por ser un ejemplo de fortaleza y fé. Por enseñarme a siempre ser positiva y a apreciar y valorar las cosas buenas de la vida. Gracias por creer en mí. Este logro también es tuyo.

A MI HIJO

Santiago, gracias por ser mi mayor orgullo, mi fuerza y mi motivación. Por ser mi alegría y la razón de cada uno de mis logros, especialmente la culminación de mi carrera universitaria. Espero sirva de ejemplo para que siempre luches por tus sueños, a pesar de las dificultades y adversidades, con esfuerzo y Fe en Dios. Te Amo Hijo.

A MIS HERMANOS

Luis Pablo, Diego Renato y Jorge Alejandro, por su apoyo y por compartir mis alegrías y mis tristezas. Por estar presentes en cada etapa de mi vida y por su respaldo en todo momento.

A MIS ABUELOS

Benedicto Morales (+), Florencia Morales, María Morales y Juan García, por inspirarme y por ser un ejemplo de lucha, trabajo y amor.

A MIS AMIGOS

David Reynoso, Gladys Bolaños, Marisol Santizo, Elvira Castellanos, Ale Morales y Raquel Morales (+), por su amistad sincera y por formar parte de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS:

A La Universidad de San Carlos de Guatemala: Mi Alma Máter, por formarme académica y profesionalmente para servir al pueblo de Guatemala.

A La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia: por ser mi segunda casa, por permitirme formar parte de sus aulas y por prepararme como mujer de ciencia y como profesional.

A mi Asesor de Tesis, MSc. Sergio Lickes: por su apoyo incondicional en cada etapa de este proceso y por animarme en los momentos de dificultad.

A mi Revisora de Tesis, MSc. Blanca Samayoa: por su apoyo.

A mis Profesores: quienes me transmitieron sus conocimientos para prepararme académicamente, especialmente a Licda. María del Carmen Bran, Lic. Manuel Díaz y MSc. Claudio Gálvez quienes me marcaron profundamente y me enseñaron a amar la carrera de Química Biológica.

Al personal del Laboratorio de Análisis Microbiológico y de Referencia -LAMYR- y al personal de la Unidad de Análisis Instrumental -UAI- por el apoyo en la realización de esta investigación.

A la Municipalidad de Jocotenango: por su apoyo en la realización de esta investigación.

Al Profesor MSc. Erwin Emilio García: por su apoyo.

ÍNDICE

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. ANTECEDENTES	8
3.1 Contexto del Estudio:	8
3.2 Aspectos Microbiológicos del Agua:	9
3.2.1 Indicadores de contaminación fecal en el agua potable:	9
3.2.2 Bacterias del Grupo Coliforme:	10
3.3 Aspectos Fisicoquímicos del Agua	12
3.3.1 Peligros de tipo Químico en el Agua de Consumo	13
3.3.2 Cálculo de Valores de Referencia para Sustancias Químicas	14
3.3.3 Tratamiento del Agua para control Fisicoquímico	16
3.4 Tratamiento y Desinfección del Agua en Jocotenango	17
3.5 Recolección de Muestra	18
3.5.1 Agua Potable	18
3.5.2 Agentes Neutralizantes	18
3.5.3 Transporte y Recepción de Muestras	19
3.5.4 Estudios Realizados	19
4. JUSTIFICACIÓN	22
5. OBJETIVOS	23
6. HIPÓTESIS	24
7. MATERIALES Y MÉTODOS	25
7.1 Universo de Trabajo	25
7.2 Recursos	25
7.2.1 Humanos	25
7.2.2 Institucionales	25
7.2.3 Equipos y materiales de laboratorio	25
7.3 Metodología	27
7.3.1 Toma de Muestra	27
7.3.2 Análisis Bacteriológico	27
7.3.3 Análisis físicos y químicos	29
7.3.4 Diseño de Investigación	30

7.3.5	Análisis de Resultados	31
8.	RESULTADOS	32
8.1	Resultados Físicoquímicos:	32
8.2	Resultados Microbiológicos:	33
9.	DISCUSIÓN	35
9.1	Análisis Físicoquímico	35
9.2	Análisis Microbiológico	36
10.	CONCLUSIONES	39
11.	RECOMENDACIONES	40
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
13.	ANEXOS	45

1. RESUMEN

Numerosas comunidades rurales han estado al margen del monitoreo de la calidad del agua para consumo humano. En la actualidad aún existen comunidades con altas incidencias de enfermedades gastrointestinales y parasitarias, donde el origen de estas se le ha atribuido a la deficiencia en la calidad del agua distribuida a la población (MSPAS, 2019).

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua del municipio de Jocotenango, departamento de Sacatepéquez. Para el estudio se utilizó un diseño de muestreo por medidas repetidas: 2 muestreos en estación lluviosa y 2 muestreos en estación seca. Se analizó un total de 24 muestras de agua. Se tomaron muestras de los 6 tanques que componen la red de distribución del municipio. Las muestras de agua de los tanques se recolectaron en frascos estériles con tiosulfato de sodio al 0.1 N, bajo condiciones asépticas, luego las muestras se transportaron en cadena de frío hacia el laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos LAMIR y a la Unidad de Análisis Instrumental (UAI), en un período de cuatro horas, donde fueron analizadas. En el LAMIR se utilizó la metodología de Número Más Probable (NMP), indicando la presencia/ausencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. En la UAI se utilizaron las metodologías aprobadas por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. De esta forma se verificó el cumplimiento de la norma COGUANOR NTG 29001, que indica los parámetros para determinar si el agua es apta para consumo humano. La calidad del agua se vio afectada por las estaciones del año. La alcalinidad, los sulfatos y la dureza del agua, se encontraron aumentados durante la estación lluviosa, debido al arrastre de partículas sólidas al interior de los tanques. Los cloruros se encontraron aumentados durante la estación seca, debido al aumento de mineralización del agua subterránea obtenida de los pozos. Durante la estación lluviosa, el agua presentó coliformes totales y *Escherichia coli* en 2 de los tanques analizados, debido al arrastre de contaminantes biológicos, provenientes de los alrededores, por lo que se consideró no apta para el consumo humano. Estos tanques se encontraban cercanos a criaderos de animales y tenían más de 8 años de construcción. Durante la estación seca, el agua mantuvo su calidad microbiológica debido a que hubo menos posibilidad de arrastre de contaminantes al interior de los tanques.

2. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para el ser humano y para todo ser vivo. El acceso a fuentes de agua potable es un derecho que tienen los seres humanos, sin embargo, no todas las poblaciones tienen acceso a ella. En el departamento de Sacatepéquez se encuentra ubicado Jocotenango, un municipio con bajo grado de desarrollo social, cuenta con una abundante fuente de agua ubicada en una colina al norte del municipio, conocida como colonia Los Llanos, la cual abastece a la mayoría de la población de este municipio. La presente investigación consiste en analizar la calidad del agua que se almacena en los tanques de distribución del municipio de Jocotenango, desde el punto de vista físico, químico y microbiológico, a través de un muestreo realizado a los 6 tanques de distribución del municipio. Se realizó un muestreo por medidas repetidas en 2 etapas de muestreo, la primera fase se realizó en estación lluviosa y la segunda en estación seca. En total se tomó 12 muestras en estación lluviosa y 12 muestras en estación seca, haciendo un total de 24 muestras. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) ubicado en el departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica y en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI). Los análisis que se realizaron fueron: coliformes totales y *Escherichia Coli*, conductividad eléctrica, turbidez, pH, alcalinidad, dureza total, sólidos totales disueltos, sulfatos y cloruros.

La importancia de esta investigación radicó en que actualmente, no se realizó ningún estudio microbiológico ni fisicoquímico al agua para consumo humano de los tanques de almacenamiento de la municipalidad de Jocotenango. El propósito de esta investigación fue determinar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los tanques de almacenamiento, que consumían los pobladores de este municipio. Se presentó un informe de resultados a la municipalidad, para determinar las medidas correctivas y preventivas necesarias. Esta investigación representó un aporte a la población de este municipio, ya que brindó información importante sobre la situación del agua almacenada.

3. ANTECEDENTES

3.1 Contexto del Estudio:

El municipio de Jocotenango, departamento de Sacatepéquez, está localizado geográficamente en la región V de Guatemala, también conocida como región central. Se encuentra localizado en las siguientes coordenadas: latitud $14^{\circ} 34'28''$ y longitud $90^{\circ} 44'28''$ a una altura de 1,530 metros sobre el nivel del mar, a una distancia de 3.0 km de la cabecera departamental y a 45.5 km de la ciudad capital. Su extensión territorial es de 9 km². Colinda al norte con San Pedro Sacatepéquez (Guatemala) y Santo Domingo Xenacoj, al sur con La Antigua Guatemala y Santa Catarina Barahona, al este con La Antigua Guatemala, Santiago Sacatepéquez y San Bartolomé Milpas Altas y al oeste con Pastores, Sumpango y Santa Catarina Barahona, todos los municipios del departamento de Sacatepéquez (Anexo 4). El municipio está integrado por 7 zonas, entre las cuales se encuentran 4 lotificaciones, 7 colonias, 1 residencial y 2 condominios. El resto del municipio lo conforman dos aldeas (Vista Hermosa y La Rinconada) y un caserío (Mano de León) (SEGEPLAN, 2015) (Anexo 3).

Jocotenango cuenta con los servicios básicos como energía eléctrica, agua potable, drenajes y servicio telefónico. Cuenta con 6 tanques de almacenamiento de agua potable. El agua que abastece dichos tanques proviene de 6 pozos, ubicados en una colina al norte del municipio, conocido como Colonia Los Llanos. El agua es transportada directamente desde los pozos hacia los tanques de almacenamiento.

El muestreo se realizó utilizando el método estadístico por medidas repetidas. La toma de muestra se realizó directamente del agua de los tanques de almacenamiento donde se recolecta el agua extraída de los pozos para el abastecimiento del municipio.

3.2 Aspectos Microbiológicos del Agua:

Se considera agua potable al agua destinada al consumo humano. Esta debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias químicas y desechos biológicos que puedan perjudicar la salud (García, 2019).

El agua puede contaminarse fácilmente con una variedad de microorganismos, como bacterias, virus, parásitos y hongos. Dentro de estos microorganismos se encuentran algunos que son oportunistas, siendo las heces fecales una de las fuentes principales de contaminación. Los patógenos oportunistas, pueden estar presentes en el ambiente natural, lo cual representa un riesgo para aquellas personas cuyo sistema inmunitario se encuentra disminuido, personas de edad avanzada, personas de muy corta edad y pacientes hospitalizados (OPS, 2018).

Muchas regiones del país vienen afrontando una gran crisis en cuanto al manejo del recurso hídrico; por un lado, se enfrentan sequías y por el otro, inundaciones. Las limitaciones de acceso a este valioso recurso, las preocupaciones en cuanto a la calidad de agua, la planificación bajo incertidumbre y variabilidad climática y la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de uso sustentable del agua son algunos de los aspectos preocupantes para los usuarios de los recursos hídricos. En la última década, para el manejo de estos recursos se ha recomendado un enfoque integrado considerando el manejo desde la demanda, la calidad de agua, la conservación y protección de ecosistemas (MARN, 2017).

En el municipio de Jocotenango, como en todos los municipios del país, es de vital importancia evaluar la calidad del agua que consumen los pobladores.

3.2.1 Indicadores de contaminación fecal en el agua potable:

Las bacterias indicadoras de contaminación fecal deben cumplir con una serie de criterios. Deben estar presentes en un gran número en las heces de los seres

humanos y de los animales de sangre caliente; deben ser fácilmente detectables por métodos sencillos y no deben desarrollarse en el agua en condiciones naturales (Olivas, 2014).

En un mundo invadido por la contaminación generalizada del entorno natural (suelos, subsuelo, atmósfera, hidrosfera, vegetación), las aguas más seguras, las de mejor calidad para los fines más exigentes, son las del subsuelo, las aguas de los acuíferos confinados profundos y la de sus manantiales (Catalán, 2019).

3.2.2 Bacterias del Grupo Coliforme:

Son bacilos gram negativo, ampliamente distribuidos en la naturaleza; son habitantes intestinales en el hombre y en general de los animales de sangre caliente. Muchas enfermedades infecciosas en el hombre, como fiebre tifoidea, disentería y cólera son causadas por bacterias patógenas que se transmiten por medio de agua contaminada; de ahí la importancia de los coliformes totales y fecales como indicadores directos de contaminación fecal en el agua. Una muestra de agua que no contiene coliformes totales ni fecales es considerada libre de microorganismos causantes de enfermedades producidas por bacterias e inclusive por otros microorganismos patógenos, como por ejemplo algunos virus (hepatitis A, rotavirus, entre otros) (OMS, 2014).

Se considera al grupo coliforme como el principal indicador de contaminación fecal en agua de uso doméstico e industrial. Su presencia en el agua es considerada como un estándar de calidad bacteriológico de suministros de agua (Manual del agua, 2019).

3.2.2.1 Coliformes Totales

Se consideran coliformes totales a todas aquellas bacterias que sean bacilos gram negativo, no esporoformadores, que puedan crecer en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos. Fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24 a 48 horas a 35° C. La mayoría son especies del género de la familia *Enterobacteriaceae*, especialmente representados por los cuatro géneros tradicionales: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. Con la actual taxonomía, la definición de coliformes involucra a un grupo heterogéneo que comprende bacterias que pueden encontrarse tanto en heces como en el medio ambiente (suelos, aguas ricas en nutrientes y materia vegetal en descomposición) (OPS, 2018).

3.2.2.2 Coliformes Fecales

Con este término se designan principalmente a los órdenes de bacterias *Escherichia* y *Klebsiella* spp. Las bacterias de esta familia son indicadoras por excelencia de contaminación fecal del agua por heces de origen humano principalmente. Son microorganismos que pueden fermentar lactosa a 44 - 45°C. Son llamados también termorresistentes o termotolerantes. Los coliformes termorresistentes distintos de *Escherichia coli* pueden encontrarse en aguas orgánicas enriquecidas. Se ha observado que estos microorganismos se encuentran en la mayoría de los casos, en relación directa con *Escherichia coli*. Por ello, su utilización para evaluar la calidad del agua se considera aceptable (OPS, 2018).

3.2.2.3 *Escherichia coli*

Es el coliforme fecal más preciso y de mayor aceptación como indicador de contaminación fecal. Se encuentra en grandes concentraciones en heces humanas y de animal. En heces puede alcanzar hasta 10^9 bacilos por gramo de heces. Se caracteriza por poseer las enzimas β -Galactosidasa y β -Glucuronidasa. Fermenta lactosa y manitol, liberando ácido y gas. Produce indol a partir de triptófano. Se ha sugerido que esta bacteria puede existir e incluso proliferar en aguas tropicales que no han sido objeto de contaminación fecal de origen humano (Sarceño, 2017).

3.3 Aspectos Fisicoquímicos del Agua

La mayoría de las sustancias químicas presentes en el agua de consumo son potencialmente peligrosas para la salud sólo después de una exposición prolongada (durante años, más que meses). La excepción principal es el nitrato. Generalmente, los cambios en la calidad del agua se producen de forma progresiva, excepto en el caso de las sustancias que se vierten o filtran de forma esporádica a corrientes de aguas superficiales o subterráneas, procedentes, por ejemplo, de vertederos contaminados. En algunos casos, el agua puede contener grupos de sustancias químicas procedentes de fuentes relacionadas y puede no ser necesario establecer normas para todas las sustancias para las que existen valores de referencia. Si se practica la cloración, es probable que los principales subproductos para desinfección del agua (SPD) sean los trihalometanos, cuyo componente principal es el cloroformo, así como, en algunas ocasiones, los ácidos cloroacéticos. En ciertos casos, el control de las concentraciones de cloroformo y, en caso pertinente, de ácido tricloroacético también proporcionará un grado de control adecuado de otros subproductos de la cloración. Varios de los elementos inorgánicos para los que se han recomendado valores de referencia se consideran esenciales en la nutrición humana. Sin embargo, hoy no se ha realizado ningún intento de definir una concentración mínima deseable de tales sustancias en el agua de consumo (OMS, 2014).

3.3.1 Peligros de tipo Químico en el Agua de Consumo

Se ha demostrado que cierto número de contaminantes químicos causan efectos adversos para la salud de las personas como consecuencia de una exposición prolongada por el agua de consumo. No obstante, se trata sólo de una proporción muy pequeña de las sustancias químicas que pueden estar presentes en el agua de consumo procedentes de diversas fuentes. Ciertas sustancias consideradas peligrosas para la salud afectan a la aceptabilidad del agua de consumo, de modos que, por lo general, conllevarían el rechazo del agua que contiene concentraciones bastante menores que las consideradas peligrosas para la salud. Los valores de referencia basados en efectos sobre la salud, correspondientes a tales sustancias se necesitan para, por ejemplo, interpretar los datos recopilados en respuesta a reclamos de los consumidores (Catalán, 2019).

La probabilidad de que pueda haber concentraciones significativas de una sustancia química concreta en una situación determinada debe evaluarse en cada caso. Es posible que ya se conozca la presencia de ciertas sustancias químicas en un país específico, pero la de otras puede resultar más difícil de evaluar. En la mayoría de los países, tanto si se trata de países en desarrollo como industrializados, es probable que los profesionales del sector del agua conozcan la presencia de ciertas sustancias químicas en concentraciones significativas en los sistemas de abastecimiento de agua de consumo. Los conocimientos locales acumulados a lo largo del tiempo mediante la experiencia práctica son extremadamente valiosos. Por lo tanto, la presencia de unos pocos contaminantes químicos en el agua de consumo suele conocerse de antemano en muchos países y en muchos sistemas locales. No obstante, pueden surgir problemas importantes, incluso crisis, si abunda la presencia de sustancias químicas muy peligrosas para la salud, pero se desconoce porque su efecto sobre la salud es a largo plazo, causado por una exposición crónica, no una exposición breve. Tal ha sido el caso del arsénico en aguas subterráneas en Bangladesh y Bengala Occidental, por

ejemplo. En el caso de ciertos contaminantes, habrá exposición por fuentes distintas del agua de consumo, y puede ser preciso tenerlo en cuenta al establecer normas o considerar su necesidad. También puede ser importante al considerar la necesidad de monitoreo. En algunos casos, el agua de consumo será una fuente de exposición menor y el control de las concentraciones en el agua tendrá escasa repercusión en la exposición total. En otros, el control de un contaminante en el agua puede ser el modo más rentable de reducir la exposición. Por lo tanto, las estrategias de monitoreo del agua de consumo no deben contemplarse aisladamente de otras posibles vías de exposición a sustancias químicas presentes en el medio ambiente (OMS, 2014).

3.3.2 Cálculo de Valores de Referencia para Sustancias Químicas

Los criterios utilizados para decidir si se establece un valor de referencia para un componente químico concreto son los siguientes:

- Existen pruebas verosímiles de la presencia de la sustancia química en el agua de consumo, junto con pruebas de su toxicidad real o potencial
- Existe preocupación internacional significativa por la sustancia
- Se está considerando la inclusión de la sustancia, o bien ya está incluida, en el plan de evaluación de plaguicidas, WHOPEs, de la OMS, un programa de aprobación de la aplicación directa de plaguicidas al agua de consumo para el control de insectos vectores de enfermedades.

Se han calculado valores de referencia para muchos componentes químicos del agua de consumo. Un valor de referencia representa normalmente la concentración de un componente que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida. Se han establecido diversos valores de referencia provisionales en concentraciones alcanzables de forma razonable mediante métodos de tratamiento prácticos o en laboratorios analíticos;

estos valores de referencia provisionales son mayores que la concentración que se obtendría normalmente calculando el valor de referencia basado en efectos sobre la salud. Los valores de referencia se designan también como provisionales cuando los datos toxicológicos y de efectos sobre la salud están sujetos a un alto grado de incertidumbre. Existen dos fuentes principales de información acerca de los efectos sobre la salud derivados de la exposición a sustancias químicas que se pueden usar para calcular valores de referencia. Los estudios sobre poblaciones humanas son la fuente primera y preferible. Sin embargo, el valor de dichos estudios para muchas sustancias es limitado, debido a la falta de información cuantitativa sobre la concentración a la que han estado expuestas las personas o sobre la exposición simultánea a otros agentes. No obstante, dichos estudios constituyen la base principal para el desarrollo de los valores de referencia de algunas sustancias. Los estudios de toxicidad que emplean animales de laboratorio son la segunda fuente de información y la utilizada más frecuentemente. Los estudios toxicológicos se ven limitados por el número relativamente pequeño de animales utilizado y las dosis relativamente altas administradas, lo que crea incertidumbre sobre la pertinencia de determinados resultados para la salud de las personas. Ello se debe a que los resultados obtenidos deben extrapolarse de los animales al ser humano y a las dosis bajas a las que suelen estar expuestas las poblaciones humanas. En la mayoría de los casos, el estudio en el que se basa el cálculo del valor de referencia está respaldado por otros estudios, incluidos los que aportan datos sobre personas, que también se tienen en cuenta al realizar una evaluación de los riesgos para la salud. Para calcular un valor de referencia para proteger la salud de las personas, es preciso seleccionar el estudio o estudios más adecuados. Es preferible emplear datos de estudios bien realizados, donde se haya comprobado una relación clara entre dosis y respuesta. (OMS, 2014).

3.3.3 Tratamiento del Agua para control Fisicoquímico

Según se ha señalado antes, cuando no es posible alcanzar un valor de referencia basado en efectos sobre la salud mediante un tratamiento razonablemente factible, el valor de referencia se designa como provisional y se fija a la concentración que puede alcanzarse razonablemente mediante tratamiento. La captación, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua de consumo conllevan la adición deliberada de numerosas sustancias químicas para mejorar la inocuidad y calidad para los consumidores del agua de consumo tratada (aditivos directos). Además, el agua está en contacto permanente con tuberías, válvulas, grifos y superficies de depósitos, todos los cuales pueden aportar más sustancias químicas al agua (aditivos indirectos).

La capacidad de alcanzar un valor de referencia en un sistema de abastecimiento de agua de consumo depende de varios factores, incluidos los siguientes:

- La concentración de la sustancia química en el agua bruta
- Las medidas de control aplicadas en todo el sistema de abastecimiento de agua de consumo
- La naturaleza del agua bruta (aguas subterráneas o superficiales, presencia de componentes naturales y otros)
- Los procesos de tratamiento ya instalados.

Si un valor de referencia no puede alcanzarse mediante el sistema existente, puede ser necesario considerar el uso de un tratamiento adicional, o bien obtener el agua de otras fuentes. El costo que conlleva alcanzar un valor de referencia dependerá de la complejidad de los tratamientos adicionales u otras medidas de control que sean necesarios. No es posible proporcionar información cuantitativa general sobre el costo que conlleva alcanzar valores de referencia individuales (OMS, 2014).

3.4 Tratamiento y Desinfección del Agua en Jocotenango

La elección y protección adecuada de las fuentes de agua tienen una importancia fundamental para el abastecimiento de agua inocua. Antes de seleccionar una nueva fuente de agua para el consumo humano es importante asegurarse de que la calidad es satisfactoria o puede llegar a serlo después del tratamiento. Para saber cuál es el proceso de tratamiento más adecuado, se debe tener en cuenta el tipo de fuente y la calidad del agua procedente de esta. El objetivo del tratamiento del agua es la protección del consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultar desagradables o perjudiciales para la salud (Pinca, 2010).

La desinfección permite mantener un control permanente en el mantenimiento de la calidad del agua para consumo humano. Esto es posible a través de la evaluación frecuente de las concentraciones de los desinfectantes usados. La eficiencia de los desinfectantes puede expresarse en términos ya sea de concentraciones relativas para alcanzar el mismo nivel de desinfección o de niveles relativos de desinfección producidos con una misma concentración de desinfectante. Sin embargo, debido a la distinta naturaleza de los microorganismos y los problemas para estandarizar las condiciones para realizar la desinfección, solo es posible formular apreciaciones sobre las eficiencias comparativas de los distintos desinfectantes. Dentro de dichas limitaciones se pueden agrupar a los agentes desinfectantes, según sea su eficacia, entre los cuales están: cloro, bióxido de cloro u ozono (Pinca, 2010).

En el municipio de Jocotenango, el agua recolectada en los tanques de almacenamiento, es desinfectada con bombas de cloro gaseoso, las cuales son activadas automáticamente con un temporizador, controlado por un técnico especialista. El personal del departamento de aguas de la municipalidad realiza una medición de cloro cada 3 horas, utilizando un medidor automatizado. El proceso controlado de desinfección del agua mediante cloración gaseosa permite garantizar la cloración adecuada y segura del agua de los tanques (Departamento de Aguas, Municipalidad de Jocotenango, 2017).

3.5 Recolección de Muestra

Todo proceso de muestreo inicia desde el recipiente para toma de muestra, el volumen a tomar y el etiquetado correcto de la muestra. En este caso, el volumen mínimo de muestra necesario es de 100 ml y la etiqueta informativa debe contar con información como: origen, fecha y hora de recolección, naturaleza del agua, nombre de la persona que recolecta la muestra y todos los datos sobre el almacenamiento y condiciones de transporte hasta su análisis. Siempre que se realiza un muestreo de agua debe tomarse en cuenta que existen diferentes maneras de tomar la muestra según sea su origen, el frasco o bolsa estéril no debe abrirse hasta el momento que tenga que llenarse, debe tenerse especial cuidado de no contaminar el tapón para evitar contaminación de la muestra y la obtención final de resultados erróneos en el análisis bacteriológico (INFOM, 2016).

3.5.1 Agua Potable

Si es recolectada de un sistema de distribución, se deben seleccionar grifos o tanques que estén conectados directamente al servicio de distribución. Estos deben ser representativos para el muestreo. Si los tanques cuentan con grifos para la recolección de las muestras, se deja correr el agua por un mínimo de 2 minutos. En el caso de que no haya grifo la muestra será tomada descendiendo dentro del tanque un frasco esterilizado con peso equivalente para la recolección directa de la muestra. Debe tenerse especial cuidado de no contaminar la muestra al momento de la recolección. Debe evitarse tomar muestras de la superficie o del fondo (INFOM, 2016).

3.5.2 Agentes Neutralizantes

El tiosulfato de sodio es el producto más comúnmente usado para la dechlorinación del agua con fines de conservación para uso analítico. Se emplea en la toma de

muestra para análisis microbiológico para evitar que los agentes clorados continúen la destrucción o inhibición de los microorganismos después de la toma de muestra.

En el caso de aguas cloradas, una concentración de 100 mg/L de tiosulfato de sodio en la muestra, se logra colocando 0.1 ml de una solución al 10 por ciento de tiosulfato de sodio por cada 120 ml de muestra.

En el caso de agua potable, 0.1 ml de solución de tiosulfato de sodio al 3 por ciento por cada 120 ml de muestra neutraliza concentraciones de hasta 5 mg/L de cloro residual (Clesceri & Greenberg, 2012).

Para aguas de desecho con altas concentraciones de metales se utiliza 0.3 ml de una solución de etilendiamintetraacetato (EDTA) al 15 por ciento y ajustada a un pH de 6.5. Este último es un agente quelante que reduce la toxicidad de los metales (Webber, 2013).

3.5.3 Transporte y Recepción de Muestras

Las muestras deben ser enviadas rápidamente al laboratorio, para ser analizadas. Se deben transportar en frío (temperatura de 2 - 10° C) si no se procesan una hora después de su recolección. El tiempo prudencial para efectuar el examen bacteriológico después de su recolección es de 6 horas; el tiempo máximo entre la recolección de la muestra y la realización del análisis es de 24 horas (COGUANOR, NTG 29001).

3.5.4 Estudios Realizados

Se han realizado varios estudios en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre control de la calidad del agua potable en distintas regiones del país, pero no existe ningún estudio acerca de la calidad de la misma en el municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.

En 1996 Gudiel Paniagua realizó un estudio para determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua que se distribuye al Municipio de Santa Catarina Pinula. Se encontró que el agua cumplía con los parámetros establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29001 en cuanto a aspectos fisicoquímicos como bacteriológicos, únicamente en estación seca. Sin embargo, se determinó que el agua no cumplía con los parámetros establecidos por esta norma en estación lluviosa.

En 2004 Gramajo Cifuentes realizó un estudio para determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua que se distribuye a la zona 11 de Mixco, directamente de los pozos mecánicos. Se encontró que el agua analizada cumplía con los parámetros establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29001 en cuanto a aspectos fisicoquímicos como bacteriológicos, por lo que se consideraba apta para el consumo humano.

En 2006 Roldán Estrada realizó un estudio para determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua que se distribuye al municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Se encontró que el agua distribuida en este municipio, cumple con los parámetros físicos establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001. Se determinó que el agua presentaba coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, por lo que no era apta para el consumo humano.

En 2011 Pensamiento realizó un estudio para determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua que se distribuye al municipio de San Agustín Acasaguastlán departamento de El Progreso. Se determinó que el agua no cumplía con los parámetros físicos y microbiológicos establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001 por lo que no se consideraba apta para el consumo humano.

En 2015 Arriaza y Contreras realizaron un estudio de control de calidad de agua potable, en distintas facultades del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encontrándose en todas, niveles superiores a los establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 para agua potable, respecto al número de coliformes totales y en 2 facultades, se obtuvo un resultado positivo para la presencia de *Escherichia coli* concluyendo en que dicha agua no cumple con los requisitos de calidad que indica la normativa y por lo tanto se considera no apta para el consumo humano.

4. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural indispensable y vital para todo ser vivo y especialmente para el ser humano. Este elemento finito y frágil, juega un papel importante tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales. Actualmente nuestro país se enfrenta a grandes problemas respecto a la calidad del agua, lo cual genera diversos problemas de salud a la población, afectando mayormente a la población con bajos recursos económicos (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, 2019).

En todo el país existe una tendencia al deterioro de los cuerpos de agua por la contaminación generada por aguas residuales de origen doméstico y agrícola, lo que provoca efectos negativos en la calidad del agua para consumo humano, propiciando el deterioro de la salud de la población (García, 2019).

En los últimos años, nuevos grupos poblacionales han habitado las áreas cercanas a los pozos que abastecen los tanques de almacenamiento de agua en el municipio de Jocotenango, lo cual representa un factor de riesgo de contaminación del agua, ya que algunas viviendas en esta área, no cuentan con drenajes adecuados para el correcto tratamiento de aguas negras (Departamento de Aguas, Municipalidad de Jocotenango, 2017).

Fue necesario evaluar la calidad del agua que consumía la población de este municipio, sin embargo, para lograrlo fue determinante conocer la calidad en cada una de las fases de distribución. La primera etapa fue la obtención del agua en los tanques de almacenamiento. Este análisis fue de suma importancia, ya que representó la calidad del agua obtenida directamente de los pozos. Los tanques municipales almacenaban la totalidad del agua que será distribuida al municipio, por lo tanto, fue crucial conocer las condiciones microbiológicas y fisicoquímicas de esta. Anteriormente no se tenían registros de estudios microbiológicos ni fisicoquímicos del agua de los tanques de almacenamiento de este municipio, por lo que fue importante conocer la calidad de la misma.

5. OBJETIVOS

1. Objetivo general:

Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua para consumo humano del municipio de Jocotenango, Sacatepéquez.

2. Objetivos específicos:

1. Determinar la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*, en el agua para consumo humano, del municipio de Jocotenango, Sacatepéquez, mediante análisis microbiológicos establecidos.
2. Determinar la calidad fisicoquímica del agua para consumo humano, del municipio de Jocotenango, Sacatepéquez, mediante el análisis de los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, turbidez, pH, alcalinidad, dureza total, sólidos totales, sulfatos y cloruros.
3. Establecer si los parámetros analizados del agua para consumo humano de los tanques de almacenamiento del municipio de Jocotenango, Sacatepéquez, cumplen con la Norma COGUANOR NTG 29001.

6. HIPÓTESIS

El agua para consumo humano de los tanques de almacenamiento del municipio de Jocotenango, departamento de Sacatepéquez, no cumple con los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la Norma Técnica Guatemalteca para agua potable COGUANOR NTG 29001.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Universo de Trabajo

El universo de trabajo fue conformado por el agua utilizada para el consumo humano en el municipio de Jocotenango, Sacatepéquez, proveniente de los 6 tanques municipales. El análisis se realizó por duplicado a cada tanque, constituyendo un total de 24 muestras las cuales fueron analizadas de la siguiente forma: 12 muestras en estación lluviosa y 12 muestras en estación seca.

7.2 Recursos

7.2.1 Humanos

Br. Sofía Mariana García Flores (Tesista)

M.Sc. Sergio Lickes (Asesor)

7.2.2 Institucionales

Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) USAC

Unidad de Análisis Instrumental (UAI) USAC

7.2.3 Equipos y materiales de laboratorio

a. Materiales:

- Agua desmineralizada
- Autoclave
- Balanza
- Campana de flujo laminar
- Centrífuga

- Gradilla
- Tubos de vidrio
- Hielera
- Horno
- Incubadora
- Mechero Bunsen
- Pipeta volumétrica de 1 ml y 10 ml
- Pipetor
- Potenciador
- Tubos de ensayo
- Hielo

b. Reactivos

- Caldo LMX
- Cepa ATCC de *Escherichia coli*
- Reactivo de Kovacs
- Solución de Fenolftaleína
- Solución Ácido sulfúrico 0.2 N
- Solución Dicromato de potasio 1 N
- Solución EDTA 0.01 M
- Solución Hidróxido de Sodio 1 N
- Solución Negro ericromo.T
- Solución Nitrato de Plata 0.0141 N
- Solución Tiosulfato de Sodio

7.3 Metodología

7.3.1 Toma de Muestra

Las muestras destinadas a análisis físico y químico se tomaron en condiciones asépticas, se almacenaron en refrigeración (2 - 10° C) hasta ser llevadas al laboratorio en recipientes estériles de 1 Litro. La técnica utilizada fue la siguiente: Se rotuló el frasco para toma de muestra con los siguientes datos: lugar, fuente, fecha, hora, nombre de la persona que tomó la muestra, municipio y departamento. Se enjuagó 3 veces el frasco para toma de muestra, con el agua que se muestrea, previo a su toma. El período de tiempo comprendido entre la toma y el inicio de del análisis físico y químico no fue mayor a 24 horas.

Las muestras destinadas a análisis bacteriológico se tomaron en condiciones asépticas, se almacenaron en refrigeración (2 - 10° C) hasta ser llevadas al laboratorio en recipientes estériles de 0.5 Litros. El grifo que se utilizó para la recolección de la muestra se encontraba en buenas condiciones, conectado directamente al tanque de almacenamiento. Se desinfectó vigorosamente por dentro y por fuera con alcohol 70% y algodón, se dejó correr el agua por un mínimo de 2 minutos, se tomó la muestra en frascos estériles, de vidrio esmerilado de boca ancha con capacidad de 500 ml. El frasco fue protegido de contaminación externa.

7.3.2 Análisis Bacteriológico

El método de fermentación por tubos múltiples por número más probable (NMP) es considerado como el estándar de oro para la determinación del grupo coliforme (Ortíz & Ríos 2016).

Se utilizó caldo LMX para la determinación del grupo coliforme y *Escherichia coli*, método que se encuentra aprobado por el Standard Methods for the

Examination of Water and Wastewater y es recomendado según la norma COGUANOR NTG 29001 (Norma COGUANOR NTG 29001).

a. Procedimiento

- i. Se prepararon 15 tubos, de los cuales 5 fueron preparados a una concentración doble y los otros 10 tubos fueron preparados a una concentración simple.
- ii. Para los 5 tubos de concentración doble se utilizaron 10 ml de caldo LMX y 10 ml de muestra de agua.
- iii. Para la primera serie de 5 tubos de concentración simple se utilizaron 10 ml de caldo LMX y 1 ml de muestra de agua.
- iv. Para la segunda serie de 5 tubos de concentración simple se utilizaron 10 ml de caldo LMX y 0.1 ml de muestra de agua.
- v. Todos los tubos fueron incubados a $35^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ por 24 horas (Clesceri & Greenberg, 2012).

b. Interpretación

- i. La interpretación de los resultados se dio por el viraje del color del medio de amarillo claro a verde-azulado. Este cambio en la coloración se consideró positivo para la presencia de coliformes totales.
- ii. Si los tubos positivos para coliformes totales, presentaron fluorescencia al exponerse a luz ultra violeta se consideraron positivos para la presencia de *Escherichia coli*. Si estos últimos, presentaron además un anillo rojo al agregar reactivo de Kovacs (prueba de indol positivo) se confirmó la presencia de *Escherichia coli* (Clesceri & Greenberg, 2012).

Los beneficios de este método son:

- i. No se utilizó campanilla de Durham
- ii. Los resultados se obtuvieron en 24 horas
- iii. La técnica fue sencilla y económica

La precisión de este método radicó en el número de tubos utilizados. Los resultados fueron reportados en términos de número más probable (NMP). Este número se basa en tablas de probabilidad estadística las cuales tienen un límite de confianza de 95%. A través de ellas pudo conocer la densidad bacteriana (coliformes presentes) en la muestra (Ortíz & Ríos, 2006).

7.3.3 Análisis físicos y químicos

- a. **Parámetros Analizados:** Conductividad eléctrica, turbidez, potencial de hidrógeno (pH), alcalinidad, dureza total, sólidos totales disueltos (STD), sulfatos y cloruros.
- b. **Metodología:** Los métodos que se utilizaron se basan en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 2120C, 2130B, 2340A, B, C; 2510A, 2520B, B, 4500-C1 D, 4500 C1- E, 4500-H+ B, 4500-SO4-2 F.

7.3.4 Diseño de Investigación

a. Diseño Estadístico

El diseño de muestras se realizó por medidas repetidas (2 muestreos en estación lluviosa y 2 en estación seca). Se analizó un total de 24 muestras de agua, las cuales fueron tomadas de los tanques de la red de distribución del municipio de Jocotenango, departamento de Sacatepéquez.

b. Tipo de Muestra

Se tomaron muestras de agua de los 6 tanques que componen la red de distribución del municipio de Jocotenango.

Las coordenadas de cada uno de los tanques de donde se obtuvieron las muestras, se presentan en la siguiente tabla:

No. De Muestra	Tanque	Coordenadas
1, 7, 13, 19	1	14.581935, -90.738126
2, 8, 14, 20	2	14.581924, -90.738145
3, 9, 15, 21	3	14.581919, -90.738160
4, 10, 16, 22	4	14.581912, -90.738174
5, 11, 17, 23	5	14.581905, -90.738192
6, 12, 18, 24	6	14.581903, -90.738206

Nota: La tabla anterior, muestra el sistema de distribución de agua potable municipal, departamento de aguas, municipalidad de Jocotenango, Sacatepéquez.

7.3.5 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001. Si el agua cumplió con los parámetros analizados, se consideró que el agua almacenada en los tanques de distribución, era apta para el consumo humano.

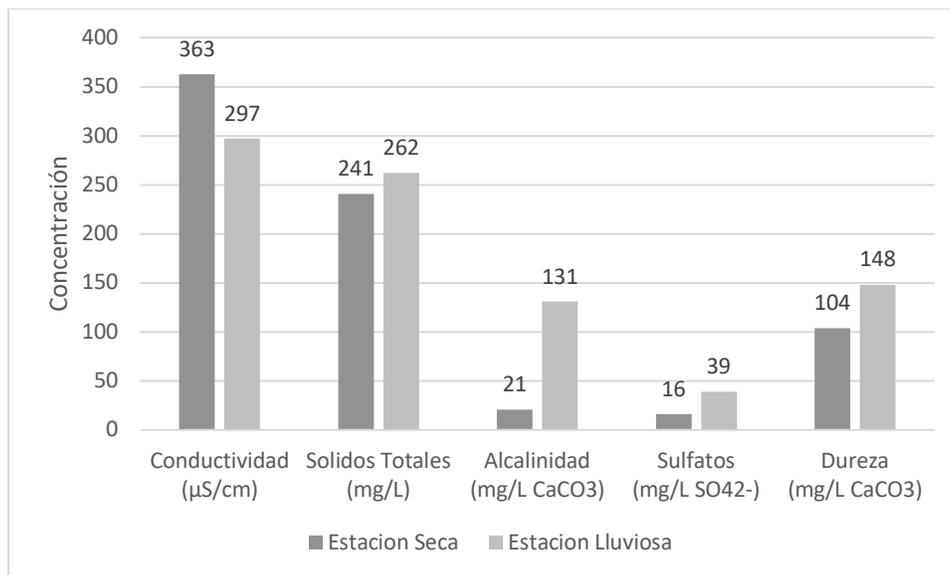
8. RESULTADOS

En la presente investigación, se determinó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de 6 tanques de almacenamiento, mediante 2 muestreos realizados en estación seca y 2 muestreos realizados en estación lluviosa.

El 100% de los parámetros fisicoquímicos analizados cumplió con la norma COGUANOR NTG 29001. Sin embargo, solo el 75% de los parámetros microbiológicos analizados, cumplió con dicha norma.

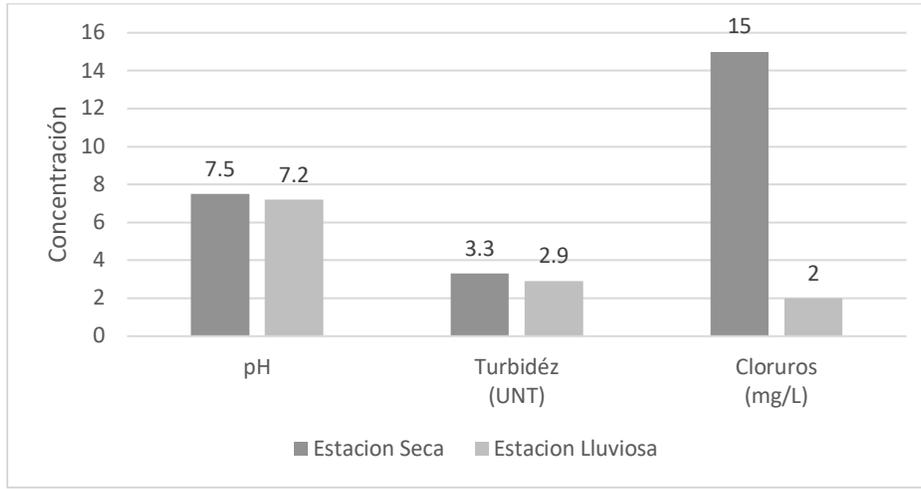
8.1 Resultados Fisicoquímicos:

Figura 1: Resultados fisicoquímicos en estación seca y lluviosa.



Nota. La Figura anterior, muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos, donde se compara la estación seca con la estación lluviosa. Se puede observar que la conductividad aumenta en estación seca, a diferencia de los sólidos totales, la alcalinidad, los sulfatos y la dureza, los cuales aumentan su concentración en estación lluviosa.

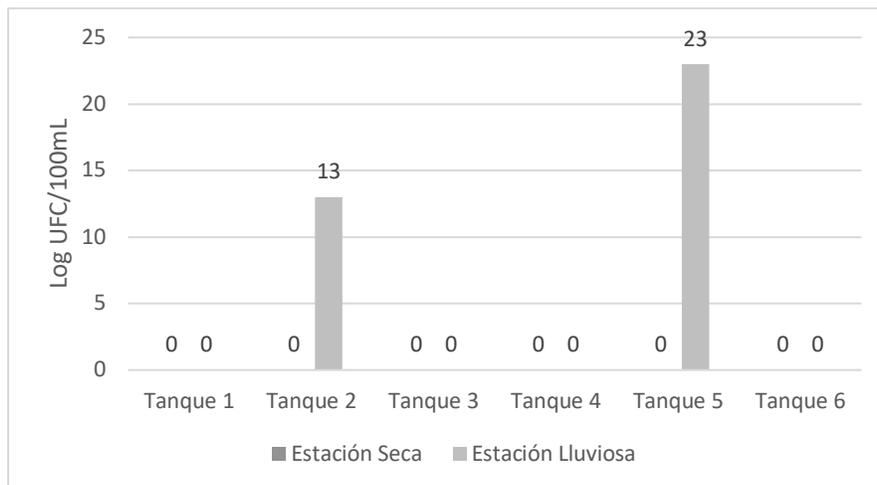
Figura 2: Resultados fisicoquímicos en estación seca y lluviosa.



Nota. La Figura anterior, muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos, donde se compara la estación seca con la estación lluviosa. Se puede observar que el pH se mantiene en valores similares, al igual que la turbidez. Los cloruros, por otro lado, aumentan su concentración en estación seca.

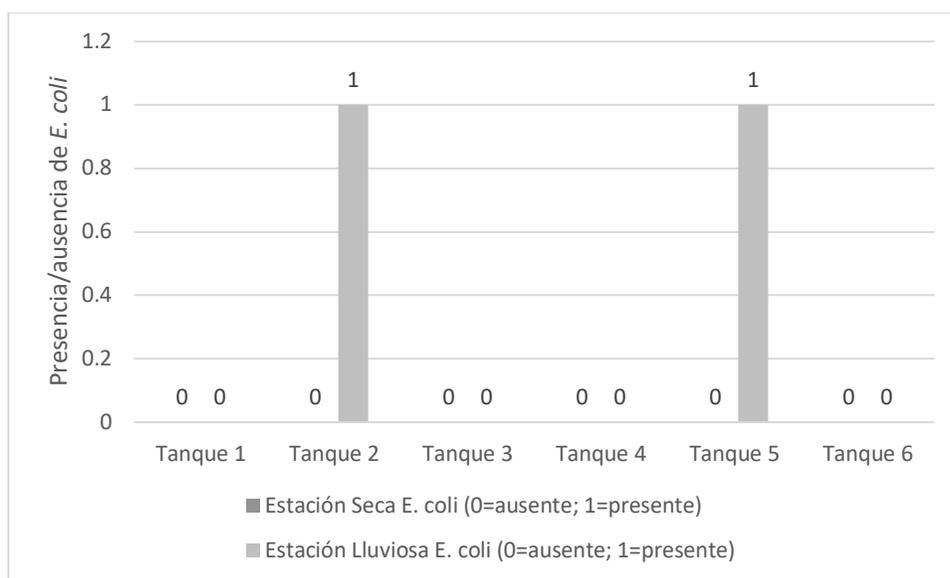
8.2 Resultados Microbiológicos:

Figura 3: Crecimiento observado de coliformes totales, estación seca y estación lluviosa.



Nota. La figura anterior, muestra los resultados obtenidos de coliformes totales, donde se compara la estación seca con la estación lluviosa. Durante la estación seca no se observó crecimiento de coliformes totales. Sin embargo, durante la estación lluviosa, se encontró presencia de coliformes totales, por lo que se consideró no apta para el consumo humano.

Figura 4: Presencia de *E. coli*, comparación estación seca y estación lluviosa.



Nota. La figura anterior, muestra los resultados obtenidos de presencia/ausencia de *E. coli*, donde se compara la estación seca con la estación lluviosa. Durante la estación seca no se observó presencia de *E. coli*. Sin embargo, durante la estación lluviosa, sí se encontró presencia de *E. coli*, por lo que se consideró no apta para el consumo humano.

9. DISCUSIÓN

Se analizó el agua contenida en los tanques de almacenamiento, mediante 2 muestreos realizados en estación seca y estación lluviosa. Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos, para determinar si el agua cumplió con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001.

9.1 Análisis Fisicoquímico

Se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica, turbidez, alcalinidad, sólidos totales, dureza total, sulfatos y cloruros. Todos los parámetros analizados se encontraron dentro de los límites máximos permisibles.

Durante la estación lluviosa, los parámetros que se encontraron aumentados fueron: alcalinidad total, sulfatos y dureza total. Durante la estación seca, los parámetros que se encontraron aumentados fueron: cloruros. Los parámetros que presentaron valores similares tanto en estación seca como en estación lluviosa fueron: pH, turbidez y conductividad eléctrica.

Según los resultados observados la alcalinidad total, presentó un aumento durante la estación lluviosa debido a que fue una medida de la capacidad del agua de neutralizar ácidos, más conocida como la capacidad amortiguadora del agua o la capacidad del agua para resistir un cambio en el pH. La alcalinidad varió según la ubicación geográfica y el área influyó directamente en la alcalinidad. Los minerales de las rocas y el suelo circundante fueron los principales responsables. Durante la estación lluviosa, el arrastre de residuos sólidos minerales, hacia el interior de los tanques de almacenamiento, causó el aumento de la alcalinidad total del agua (OPS, 2010).

Los sulfatos, presentaron un aumento durante la estación lluviosa. Este parámetro se encontró como uno de los principales componentes disueltos en el agua de lluvia. El arrastre del agua de lluvia, hacia el interior del tanque de almacenamiento aumentó la

concentración de sulfatos, sin embargo, la concentración de sulfatos se encontró dentro del límite máximo permisible. Las corrientes de arrastre formadas a causa de las lluvias movilizaron grandes cantidades de minerales, desde la tierra hacia los tanques de almacenamiento, debido a la ubicación de los mismos (Catalán, 2019).

Los cloruros se encontraron aumentados en la estación seca. El agua subterránea contenía altas concentraciones de cloruros, por lo que este parámetro aumentó cuando el agua fue obtenida, por medio de pozos y extraída a grandes profundidades. El agua subterránea del área donde se encontraron los pozos, presentó altas concentraciones de cloruros, a consecuencia de la zona montañosa donde se encontraron. Durante la estación seca, el estancamiento de minerales fue más frecuente, por lo que esta pudo causar el aumento de este parámetro en esta época del año (OPS, 2010).

La dureza total del agua se encontró ligeramente aumentada durante la estación lluviosa. Esto se debió al aumento de minerales y partículas sólidas dentro de los tanques de almacenamiento, a causa de las lluvias. El desprendimiento de minerales, de las superficies del tanque, pudo ser otra causa del aumento de este parámetro (Catalán, 2009).

El pH, la turbidez y la conductividad eléctrica, presentaron valores similares tanto en estación seca como en lluviosa. Esto ocurrió debido a que generalmente, no se ven afectados por el aumento de lluvia o el arrastre de partículas sólidas y minerales durante la estación lluviosa (García, 2010).

9.2 Análisis Microbiológico

En los muestreos realizados en estación seca, no se encontró producción de gas en ninguno de los tubos de fermentación. Esto se interpretó de forma que dicha muestra aislada, satisfizo la norma de calidad y el agua fue adecuada para consumo humano. Durante la estación seca, el arrastre de partículas y contaminantes fue menos probable, debido a que las corrientes de agua fueron menores (Webber, 2013).

En el segundo muestreo de la estación lluviosa, se encontró presencia de *Escherichia coli*. Este hallazgo, fue un indicador de contaminación fecal. Por lo tanto, el agua, tanto del tanque 2 como del tanque 5 fue considerada no apta para el consumo humano, en las muestras analizadas. La contaminación fecal de agua fue considerada peligrosa y dañina para el consumidor, ya que la materia fecal generalmente contenía microorganismos patógenos causantes de enfermedades graves, como cólera, disentería y diarreas (Webber, 2013).

La importancia del control de contaminación fecal en el agua para consumo humano fue fundamental, ya que la calidad del agua determinó la calidad de vida y de salud de los consumidores. El tratamiento correcto del agua almacenada, para su posterior distribución, debió realizarse adecuadamente para brindar a los pobladores agua de buena calidad, apta para el consumo. La frecuencia de enfermedades gastrointestinales fue frecuente en este municipio y una de las causas probables fue el agua contaminada que llegaba a las viviendas. A consecuencia del aumento de casos de enfermedades gastrointestinales, la municipalidad de Jocotenango, autorizó el análisis del agua de los tanques de almacenamiento (Centro de Salud de Jocotenango, 2018).

El consumo de agua contaminada con *Escherichia coli*, representó una de las principales causas de diarrea y enfermedades gastrointestinales que presentaron los consumidores y que acudieron al centro de salud de este municipio. La salud de la población se vio afectada, ya que el agua es un elemento vital y de consumo diario (Centro de Salud Jocotenango, 2018).

El tanque 2 tenía más de 8 años de funcionamiento, por lo que posiblemente había filtraciones en la estructura, las cuales causaron la contaminación del agua por medio de las corrientes de arrastre, formadas durante las lluvias (Webber, 2013).

El tanque 5, se encontró ubicado a un costado de la vivienda de los guardias del lugar. La cercanía de las viviendas representó un riesgo de contaminación, ya que, en los alrededores, se encontraron corrales donde habitaban diversos animales domésticos, tales

como gatos, perros, conejos y pollos. Esta fue una de las causas de contaminación del agua, ya que los desechos biológicos de estos animales, contenían grandes cantidades de bacterias patógenas, entre ellas la *Escherichia coli* entre muchas otras, causantes de enfermedades graves y diarrea. La ubicación y posicionamiento de los tanques, fue fundamental en la conservación de la calidad del agua, debido a que, durante la estación lluviosa, las corrientes de arrastre provocaron que las bacterias patógenas, alcanzaran el interior de los tanques. Se alertó a las autoridades municipales sobre este hallazgo. (OMS, 2014).

La ubicación de tanques, previo a su construcción, es un factor que debe tomarse en cuenta. Este peligro latente, puso en riesgo a todos los consumidores que recibieron el vital líquido. Los tanques de almacenamiento eran subterráneos y estos fueron propensos a formar biofilms, mohos y ambientes idóneos para la acumulación bacteriana y fúngica en las superficies. Es por ello que, las conclusiones presentadas en esta investigación aplicaron únicamente a los microorganismos objeto de estudio. Las futuras investigaciones para determinar la presencia de metales pesados, hongos, bacterias patógenas pertenecientes a otros grupos como *Salmonella*, *Shigella* y *Listeria*, y la presencia de radioactividad, serán de suma importancia para la determinación de la calidad absoluta del agua (OMS, 2014).

En el acceso a los tanques, no se encontró medidas de restricción. Frecuentemente se observó el ingreso de personas al área donde se encontraron los tanques. Esto representó un peligro de contaminación. No se encontró protocolos estandarizados para la limpieza y mantenimiento de los tanques, tampoco se contó con el personal técnico capacitado para realizar estos procedimientos de limpieza y desinfección. El escaso mantenimiento de los tanques, representó un riesgo de contaminación. El área donde se encontraban ubicados los tanques, debió encontrarse protegida, resguardada y acordonada, de tal forma que ninguna persona, ajena al departamento de aguas, pudiera tener acceso a ella. El acceso libre al área de tanques fue un peligro y un riesgo para la contaminación del agua, ya que cualquier persona pudo contaminarla de forma accidental o intencional (OMS, 2014).

10. CONCLUSIONES

1. Las estaciones del año (seca y lluviosa) influyeron en los hallazgos microbiológicos y fisicoquímicos obtenidos.
2. Durante la estación seca los cloruros se encontraron aumentados, debido a la alta mineralización del agua subterránea, obtenida de los pozos.
3. Durante la estación lluviosa, la alcalinidad, los sulfatos y la dureza, se encontraron aumentados, debido al arrastre de minerales y partículas sólidas al interior de los tanques de almacenamiento.
4. Durante la estación seca, los resultados microbiológicos obtenidos, se encontraron dentro de los límites aceptables, debido a que en esta temporada del año, hubo menos arrastre de contaminantes al interior de los tanques de almacenamiento de agua.
5. Durante la estación lluviosa, el agua presentó coliformes totales y *E. coli* en dos de los tanques analizados, a consecuencia de que estos tenían más de 8 años de construcción y al arrastre de contaminantes biológicos, provenientes de los alrededores.

11. RECOMENDACIONES

1. Realizar un programa de mantenimiento de los tanques de almacenamiento de agua para garantizar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la misma.
2. Evitar la crianza de animales domésticos en los alrededores de los tanques de almacenamiento de agua para evitar la contaminación de esta.
3. Restringir el acceso de personas al área de los tanques de almacenamiento, exclusivamente al personal técnico del departamento de aguas, de control y mantenimiento.
4. Crear protocolos de limpieza, dentro y fuera de los tanques de almacenamiento y capacitar a personal técnico para realizar los procesos adecuadamente.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arriaza, A. & Contreras, C. (19 de mayo de 2015). Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de filtros ubicados dentro del Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*. 25(2), 3-27.
2. Catalán, J. (2009). Química del agua. Madrid, España: Editorial Blume. 800p.
3. Clesceri, L., Greenberg A, Eaton AD. Eds. Standard methods for the examination of water and wastewater. (2012). 22 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 10-161p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Norma Técnica Guatemalteca. Agua Para Consumo Humano (Agua Potable). COGUANOR NTG 29001.
5. García, P. (2010). Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI. (1ª ed.). México: Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.
6. García, M. (2017). Derecho de Aguas. Tomo VI. 9p.
7. Gramajo, B. (2004). Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala. (Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
8. Gudiel, H. (1996). Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula.

(Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

9. Instituto de Fomento Municipal INFOM, (2016). Unidad ejecutora del programa de acueductos rurales Guía Para el Diseño de Abastecimiento de Agua Potable a Zonas Rurales. (2ª ed.).
10. Manual del agua. México: McGraw-Hill. México 2009. Tomo I. pp. 4-23. Tomo II. 22p.
11. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2007). 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: 34p. (p. 1).
12. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2017). Sala situacional de Jocotenango. Guatemala: Centro de Salud del Municipio de Jocotenango Sacatepéquez, Doc. Tec. 28p.
13. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2019). *La Importancia del Agua y su Gestión Sostenible desde el Legislativo*. Recuperado de: https://www.congreso.gob.gt/noticias_congreso/6003/2021/3#gsc.tab=0
14. Olivas, E. (2004). Manual de Microbiología Básica y Microbiología de Alimentos. (1ª ed.). México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
15. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). Calidad del Agua, Saneamiento y Salud / Aspectos químicos. Ginebra. Guías para la calidad del Agua potable, ONU-DAS.

16. Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2010). Guía para la Calidad de Agua Potable. (2ª ed). Ginebra, Suiza: Vols, 3, vol 3. 20p.
17. Ortiz, M. & Ríos, M. (2016). Comparación de los métodos Petrifilm™ Coliformes y Numero Más Probable (NMP) para la determinación de coliformes fecales en muestras de queso blanco. Revista Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. 37(2).
18. 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, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
19. Pinca, J. (2010). Determinación de la Calidad de Aguas. (1ª ed.). Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
20. Roldán, A. (2006). Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. (Tesis de Licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
21. 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. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación de postgrado, Facultad de Ingeniería). 60p.
22. SEGEPLAN. (2015). Informe Anual de la Política de Desarrollo Social y Población. Gobierno de Guatemala. Secretaría de Planificación y programa de la Presidencia.

23. Sistema de Distribución de Agua Potable Municipal. 2017. Guatemala: Departamento de Aguas, Municipalidad de Jocotenango, Sacatepéquez. Doc. Tec. 3p.
24. Webber, J. (2013). Control de la Calidad del Agua, Procesos Físicoquímicos. España: Reverté.

13. ANEXOS

Anexo 1: Límites Microbiológicos para Agua Potable según Norma COGUANOR NTG 29001.

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
<u>Agua para consumo directo:</u> Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua
<u>Agua tratada que entra al sistema de distribución:</u> Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua
<u>Agua tratada en el sistema de distribución:</u> Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	No deben ser detectables en 100 ml de agua

Nota. La tabla anterior, muestra los Límites Microbiológicos Máximos Permisibles según la Norma COGUANOR NTG 29001.

Anexo 2: Límites fisicoquímicos para Agua Potable según Norma COGUANOR NTG 29001.

Parámetro	LMA ^d	LMP ^e
Dureza Total (CaCO₃)	100.0 mg/L	500.0 mg/L
Sulfatos (SO₄⁻)	100.0 mg/L	250.0 mg/L
Cloruros (Cl⁻)	100.0 mg/L	250.0 mg/L
Potencial de Hidrógeno	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5 ^{(a) (c)}
Turbidez	5.0 UNT	15.0 UNT ^(b)
Conductividad Eléctrica	750 μS/cm	1500 μS/cm ^(c)
Sólidos Totales Disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L

Nota. La tabla anterior, muestra los límites fisicoquímicos máximos permisibles según la Norma COGUANOR NTG 29001.

^a En unidades de pH.

^b UNT: Unidades Nefelométricas de turbidez.

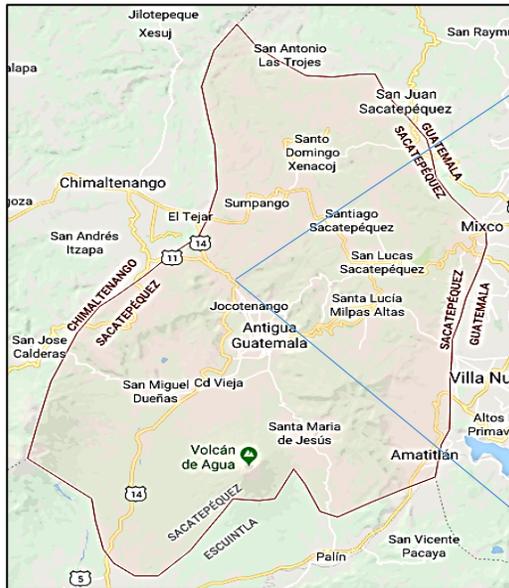
^c Límites establecidos a una temperatura de 25° C.

^d Límite Máximo Aceptable.

^e Límite Máximo Permisible.

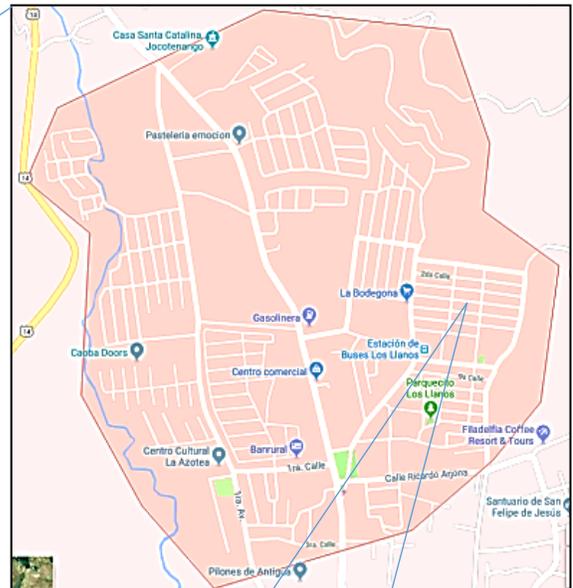
Anexo 3: Ubicación geográfica de Jocotenango y tanques de almacenamiento de agua.

Sacatepéquez Guatemala



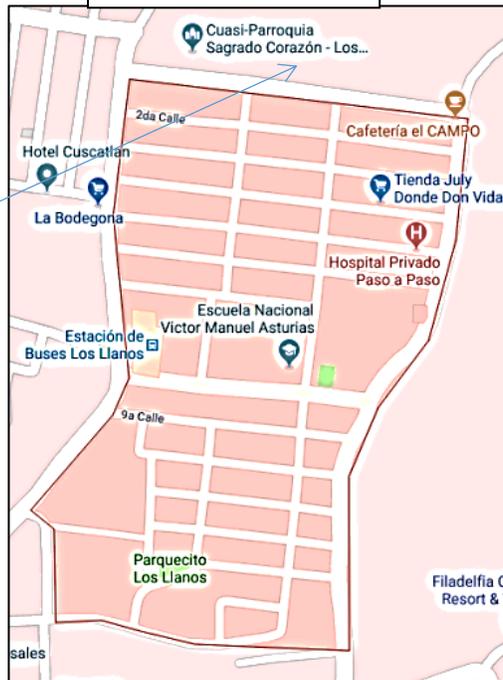
Nota. Imagen recuperada de: www.google.com.gt/maps Sacatepéquez

Jocotenango



Nota. Recuperado de www.google.com.gt/maps/jocotenango.

Colonia Los Llanos



Nota. Recuperado de: www.google.com.gt/maps/place/LosLlanos.

Tanques de Almacenamiento De Agua



Anexo 4: Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan 5 porciones de 10 mL, 5 porciones de 1 mL y 5 porciones de 0.1 mL.

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

Nota. La tabla anterior muestra la tabla de resultados del Método de Número Más Probable, según los tubos positivos obtenidos, aceptada según la Norma COGUANOR NTG 29001.

Anexo 5: Tablas de resultados fisicoquímicos y microbiológicos.

Tabla 1: Resultados de análisis fisicoquímicos de muestreo 1 de estación seca.

PARÁMETRO	Unidad de medida	Muestra Tanque 1	Muestra Tanque 2	Muestra Tanque 3	Muestra Tanque 4	Muestra Tanque 5	Muestra Tanque 6	LMA ^a	LMP ^b
pH	---	7.50	7.34	7.43	7.48	7.53	7.51	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Conductividad	μS/cm ^c	475	606	477	475	477	476	100 -750	50 – 750
Turbidez	UNT ^d	0.15	0.63	0.22	0.60	0.16	0.60	5.0	15.00
Sólidos Totales	mg/L	230	276	225	211	234	239	500	1,000
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	22.23	23.01	19.70	21.84	22.04	22.23	---	---
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	13.45	9.37	13.85	14.19	14.07	14.43	100	250
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	90	116	90	100	89	91	100	500
Cloruros	mg/L	15.40	16.10	16.40	15.80	14.90	15.30	100	250

Nota. Datos experimentales.

a: Límite Máximo Aceptable, b: Límite Máximo Permissible, c: Micro Siemens por Centímetro. d: Unidad Nefelométrica de Turbidéz.

Tabla 2: Resultados de análisis fisicoquímicos de muestreo 2 de estación seca.

PARÁMETRO	Unidad de medida	Muestra Tanque 1	Muestra Tanque 2	Muestra Tanque 3	Muestra Tanque 4	Muestra Tanque 5	Muestra Tanque 6	LMA ^a	LMP ^b
pH	---	7.73	7.47	7.51	7.51	7.55	7.53	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Conductividad	μS/cm ^c	220	276	223	224	209	218	100 -750	50 – 750
Turbidez	UNT ^d	0.38	0.27	0.28	0.24	0.23	0.21	5.0	15.00
Sólidos Totales	mg/L	243	291	238	237	235	237	500	1,000
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	21.45	21.45	20.87	21.84	21.6	21.65	---	---
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	4.21	60.42	13.57	13.34	13.06	13.02	100	250
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	115	136	106	104	113	102	100	500
Cloruros	mg/L	13.8	14.7	14.2	15.0	13.9	15.2	100	250

Nota. Datos experimentales.

a: Límite Máximo Aceptable, b: Límite Máximo Permissible, c: Micro Siemens por Centímetro. d: Unidad Nefelométrica de Turbidéz.

Tabla 3: Resultados de análisis fisicoquímicos de muestreo 1 de estación lluviosa.

PARÁMETRO	Unidad de medida	Muestra Tanque 1	Muestra Tanque 2	Muestra Tanque 3	Muestra Tanque 4	Muestra Tanque 5	Muestra Tanque 6	LMA ^a	LMP ^b
pH	---	6.92	7.18	7.07	7.14	7.01	7.04	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Conductividad	μS/cm ^c	254	237	281	226	342	440	100 -750	<1,500
Turbidez	UNT ^d	0.41	0.78	0.23	0.11	0.11	0.12	5.0	15.00
Sólidos Totales	mg/L	218	182	273	207	275	372	500	1,000
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	135.7	127.6	122.6	125.6	186.4	224.9	---	---
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	24.31	14.35	58.86	12.58	45.19	71.28	100	250
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	128.0	100.0	124.0	120.0	168.0	244.0	100	500
Cloruros	mg/L	0.11	0.21	0.26	0.11	0.11	0.21	100	250

Nota. Datos experimentales.

a: Límite Máximo Aceptable, b: Límite Máximo Permissible, c: Micro Siemens por Centímetro. d: Unidad Nefelométrica de Turbidéz.

Tabla 4: Resultados de análisis fisicoquímicos de muestreo 2 de estación lluviosa.

PARÁMETRO	Unidad de medida	Muestra Tanque 1	Muestra Tanque 2	Muestra Tanque 3	Muestra Tanque 4	Muestra Tanque 5	Muestra Tanque 6	LMA ^a	LMP ^b
pH	---	7.18	7.35	7.31	7.43	7.40	7.33	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Conductividad	μS/cm ^c	256	236	278	227	342	448	100 -750	50 – 750
Turbidez	UNT ^d	0.74	0.27	0.17	0.20	0.24	0.16	5.0	15.00
Sólidos Totales	mg/L	271	210	254	209	296	378	500	1,000
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	161.1	147.9	133.7	139.8	189.4	239.1	---	---
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	20.0	15.32	67.56	44.23	13.14	79.59	100	250
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	120.0	112.0	156.0	100.0	160.0	240.0	100	500
Cloruros	mg/L	0.16	0.37	0.26	0.16	0.32	0.26	100	250

Nota. Datos experimentales.

a: Límite Máximo Aceptable, b: Límite Máximo Permissible, c: Micro Siemens por Centímetro. d: Unidad Nefelométrica de Turbidéz.

Tabla 5: Resultados de análisis microbiológicos de muestreo 1 de estación seca.

Muestra	1:2 ^a	1:10 ^b	1:100 ^c	Coloración Azul	Luz UV	Indol ^d	Coliformes (NMP)	Totales	<i>E. coli</i>
Tanque 1	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 2	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 3	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 4	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 5	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 6	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente

a: Concentración: 10 mL de caldo LMX (concentración doble) + 10 mL de agua. b: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 1 ml de agua. c: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 0.1 mL de agua. d: Prueba confirmatoria realizada con reactivo de Kovacs, para evaluar la formación del anillo de Indol indicadora de presencia de *Escherichia coli*.

Tabla 6: Resultados de análisis microbiológicos de muestreo 2 de estación seca.

Muestra	1:2 ^a	1:10 ^b	1:100 ^c	Coloración Azul	Luz UV	Indol ^d	Coliformes (NMP)	Totales	<i>E. coli</i>
Tanque 1	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 2	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 3	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 4	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 5	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 6	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente

a: Concentración: 10 mL de caldo LMX (concentración doble) + 10 mL de agua. b: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 1 ml de agua. c: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 0.1 mL de agua. d: Prueba confirmatoria realizada con reactivo de Kovacs, para evaluar la formación del anillo de Indol indicadora de presencia de *Escherichia coli*.

Tabla 7: Resultados de análisis microbiológicos de muestreo 1 de estación lluviosa.

Muestra	1:2 ^a	1:10 ^b	1:100 ^c	Coloración Azul	Luz UV	Indol ^d	Coliformes (NMP)	Totales	<i>E. coli</i>
Tanque 1	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 2	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 3	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 4	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 5	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 6	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente

a: Concentración: 10 mL de caldo LMX (concentración doble) + 10 mL de agua. b: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 1 ml de agua. c: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 0.1 mL de agua. d: Prueba confirmatoria realizada con reactivo de Kovacs, para evaluar la formación del anillo de Indol indicadora de presencia de *Escherichia coli*.

Tabla 8: Resultados de análisis microbiológicos de muestreo 2 de estación lluviosa.

Muestra	1:2 ^a	1:10 ^b	1:100 ^c	Coloración Azul	Luz UV	Indol ^d	Coliformes (NMP)	Totales	<i>E. coli</i>
Tanque 1	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
<u>Tanque 2</u>	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>Positivo</u>	<u>Positivo</u>	<u>Positivo</u>	<u>13 NMP/100mL</u>		<u>Presente</u>
Tanque 3	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
Tanque 4	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente
<u>Tanque 5</u>	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>Positivo</u>	<u>Positivo</u>	<u>Positivo</u>	<u>23 NMP/100mL</u>		<u>Presente</u>
Tanque 6	0	0	0	Negativo	---	---	< 2.0 NMP/100mL		Ausente

a: Concentración: 10 mL de caldo LMX (concentración doble) + 10 mL de agua. b: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 1 ml de agua. c: 10 mL de caldo LMX (concentración simple) + 0.1 mL de agua. d: Prueba confirmatoria realizada con reactivo de Kovacs, para evaluar la formación del anillo de Indol indicadora de presencia de *Escherichia coli*.

Br. Sofía Mariana García Flores

AUTORA

MSc. Sergio Alfredo Lickes

ASESOR

MSc. Blanca Elizabeth Samayoa Herrera

REVISORA

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel

DIRECTOR

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino



DECANO EN FUNCIONES