

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



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS
TANQUES DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE CAMOTÁN, CHIQUIMULA**

**NIDIA GABRIELA FAJARDO ARRIOLA
LAU SHI MENG MARROQUÍN**

QUÍMICAS BIÓLOGAS

GUATEMALA, MAYO DE 2022

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



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LOS
TANQUES DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE CAMOTÁN, CHIQUIMULA**

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

**PRESENTADO POR
NIDIA GABRIELA FAJARDO ARRIOLA
LAU SHI MENG MARROQUÍN**

**PARA OBTAR AL TÍTULO DE
QUÍMICAS BIÓLOGAS**

GUATEMALA, MAYO DE 2022

JUNTA DIRECTIVA

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria
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

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darnos sabiduría, conocimiento y fortaleza. Porque todo es hecho por Él y para Él en Su gracia y para Su gloria.

A **nuestros padres** Jerzon Ottoniel Fajardo Brenes, Nidia Arriola Nájera de Fajardo, Julio César Meng Ramírez y Nancy Carolina Marroquín Antón de Meng; por su amor, apoyo, esfuerzo y dedicación que nos han brindado en cada una de nuestras etapas.

A **nuestras hermanas** Stephanie Fajardo, Mariandré Fajardo, Sofía Fajardo, Kristhal Meng y Sindy Meng, a nuestros abuelos, tíos, primos y **al resto de nuestra familia** por su apoyo incondicional y compañía durante toda nuestra formación profesional.

A **todos nuestros amigos** que conocimos durante nuestros años de estudio, quienes siempre nos brindaron su apoyo y amistad.

A nuestra asesora **Dra. Karin Larissa Herrera**, por ser nuestra guía en cada una de las etapas de nuestro proceso de investigación. A Nuestra Revisor **Lic. Jorge Pérez Folgar**, por su eficiencia, apoyo y aporte para poder culminar nuestra investigación.

A las instituciones que colaboraron en la realización de la investigación; a la **Municipalidad de Camotán**, al **Centro de Salud de Camotán** y la **Dirección de Área de Salud de Quiché**.

A la **Tricentennial Universidad de San Carlos de Guatemala** y la **Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**.

ÍNDICE

I.	ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	1
II.	RESUMEN	2
III.	ANTECEDENTES	3
A.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE CAMOTÁN	3
B.	GENERALIDADES DEL AGUA	5
C.	TIPOS DE AGUA	5
D.	USOS DEL AGUA	6
E.	CONTAMINACIÓN DEL AGUA	6
F.	CALIDAD DEL AGUA EN GUATEMALA.....	7
G.	MICROORGANISMOS PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR EL AGUA.....	9
1.	Bacterias	9
2.	Virus	9
3.	Parásitos	10
H.	EPIDEMIOLOGÍA DE LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN EL PAÍS	10
I.	NORMA COGUANOR 29001	11
J.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	12
K.	TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO... 13	
L.	ESTUDIOS PREVIOS EN CHIQUIMULA	13
M.	DESNUTRICIÓN AGUDA Y CRÓNICA	14
1.	Situación actual en Guatemala y Camotán.....	14
N.	OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y PLAN NACIONAL DE DESARROLLO: K´ATUN NUESTRA GUATEMALA 2032	16
1.	Objetivos de Desarrollo Sostenible 2: Hambre cero	16
2.	Objetivos de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento	17
IV.	JUSTIFICACIÓN	19
V.	OBJETIVOS	21
A.	OBJETIVO GENERAL	21
B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
VI.	HIPÓTESIS.....	22
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	23

A.	UNIVERSO.....	23
B.	MUESTRAS.....	23
C.	RECURSOS	23
1.	Humanos.....	23
2.	Institucionales.....	23
D.	MATERIALES.....	23
1.	Equipo	23
2.	Materiales	23
3.	Reactivos y medios de cultivo.....	24
E.	METODOLOGÍA	24
1.	Selección de áreas de muestreo	24
2.	Procedimiento de toma de muestra	24
3.	Técnica para el análisis microbiológico	24
F.	DISEÑO ESTADÍSTICO	25
1.	Tipo de estudio: Descriptivo.	25
2.	Tipo de muestreo: Diario.....	25
VIII.	RESULTADOS	27
IX.	DISCUSIÓN	35
X.	CONCLUSIONES	40
XI.	RECOMENDACIONES.....	41
XII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
XIII.	ANEXOS.....	48

I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento del municipio de Camotán en el departamento de Chiquimula, para determinar que se encuentren dentro de los límites permisibles según la Norma COGUANOR NGO 29001. Este municipio posee condiciones críticas de pobreza y extrema pobreza, malas condiciones sanitario-ambientales, falta o mal estado de los drenajes y falta de tratamiento de las aguas residuales, ineficiente programa de manejo de desechos sólidos y ausencia de sistema de potabilización de agua. Además del deterioro de la seguridad alimentaria y nutricional con un alto porcentaje de desnutrición crónica de escolares de primer grado del sector oficial que alcanza el 55.20% (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (2018).

Así también se identificó la presencia de coliformes y en particular *Escherichia coli* en los tanques, para proponer recomendaciones para el tratamiento del agua y sistemas de distribución del municipio de Camotán. Además de concientizar sobre las repercusiones sobre la salud y la vulnerabilidad de la población con desnutrición.

II. RESUMEN

Este estudio se enfocó en el análisis microbiológico de muestras de agua, provenientes de cuatro tanques de abastecimiento de la red de distribución domiciliar, en el Municipio de Camotán, Chiquimula. Se evaluó la calidad microbiológica, por medio de la identificación de Coliformes Totales y *Escherichia coli*. Con el objetivo de evaluar la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento determinando si los parámetros antes mencionados, cumplían con lo establecido por la norma COGUANOR NTG 29001, 2013; esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para el consumo humano.

El estudio fue de tipo descriptivo, se planificó el análisis de 14 muestras por tanque para probar la hipótesis binomial que la probabilidad de cumplimiento con la norma COGUANOR 29001, 2013 del agua que sale de los tanques es de más de 0.80 (80%). Para concluir que el agua era apta para consumo humano las 14 muestras de agua de cada tanque deberían cumplir con la norma tanto para coliformes totales como *E. coli*. Las muestras de agua de los tanques se recolectaron en frascos estériles con tiosulfato de sodio bajo condiciones asépticas, luego las muestras se transportaron en cadena de frío para realizar su análisis utilizando la metodología de Readycult® indicando la presencia y ausencia de coliformes totales y *Escherichia coli*.

De las 56 muestras analizadas, solamente 25 cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001, 2013, siendo el tanque 3 el que presentó un mayor porcentaje de cumplimiento (64%) y el tanque 1 el que presentó un menor porcentaje de cumplimiento (29%). Con esos resultados se concluye, que la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento en el municipio de Camotán, Chiquimula no es apta para consumo humano todos los días debido a que los cuatro tanques evaluados presentaron coliformes totales y *Escherichia coli* en al menos un día muestreado.

El estudio realizado brindó información a las autoridades para formar alianzas estratégicas junto con el Ministerio de Salud y tomar acciones para la mejora de la calidad de agua. Debido a la alta prevalencia de desnutrición en municipio, la falta de agua potable apta para consumo humano puede ocasionar una elevación de la prevalencia de enfermedades infecciosas y un agravamiento del cuadro de desnutrición. De esta manera trabajar por alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): ODS 2 “Hambre cero” y ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”.

III. ANTECEDENTES

A. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE CAMOTÁN

“El municipio de Camotán está ubicado en la región oriental de la República, es uno de los municipios que integran la región Chortí y pertenece al departamento de Chiquimula, ubicado en las coordenadas latitud norte 14°49’13”, longitud oeste 89°22’24” con una elevación de 457 metros sobre el nivel del mar, en relación al punto geodésico que se encuentra inserto en el parque de la cabecera municipal. Dista a 31 kilómetros de la cabecera departamental de Chiquimula y a 206 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala, utilizando como vía la carretera CA-9” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

“Camotán está formado por 1 pueblo (la cabecera), 29 aldeas y 118 caseríos y 9 parajes, en su división político administrativa está dividida en 10 microrregiones, distribuidas en función a la relación de rutas de acceso entre las comunidades y ubicación geográfica, lo cual se grafica en el anexo 1: División política, administrativa y de las micro regiones del Municipio de Camotán., las cuales son representadas en los diferentes espacios de participación ciudadana, por un presidente de Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE), el cual es asignado democráticamente por los presidentes de COCODE que representan a las comunidades de cada microrregión” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

Con respecto a la hidrología, “en el municipio de Camotán la micro cuenca de la Quebrada de Agua Caliente predomina en área, con 26%; sigue la micro cuenca del río Pexja, con 13%; el tercer lugar en extensión lo ocupa la Quebrada Limón, con un 9%; sigue la Quebrada Caparrosa, con un 8% y finalmente las Quebradas Shupa y El Salto cada una con un 7%. Las 9 micro cuencas restantes tienen cada una de ellas menos de 6 Ha, de acuerdo con los datos del anexo 2: Micro cuencas del municipio de Camotán, Chiquimula” (Sistema Nacional de Financiamiento para la Preinversión, 2004).

“Para el abastecimiento de agua de la población del municipio, ésta se hace mediante conexiones domiciliarias, llena cántaros y otros sistemas como el acarreo de fuentes

superficiales como las microcuencas antes mencionadas, nacimientos y pozos” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

“Para poder abastecer de agua a las distintas viviendas, en los centros poblados del municipio, existe un total de 91 acueductos de los cuales 72 se encuentran funcionando, de estos, solo tres cuentan con sistema de cloración, y son monitoreados semanalmente por el personal de la oficina de gestión ambiental, de la municipalidad” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

“De acuerdo con el Censo Municipal realizado en marzo del 2017, el número de viviendas del área rural totaliza 9,029 viviendas, de las cuales, 5,886 tienen conexión a la red de agua, esto equivale al 65.19%, aunque se debe de resaltar que en la temporada de estiaje el servicio es casi nulo en la mayoría de las comunidades, debido a la disminución del caudal de agua en las fuentes. El resto de viviendas del área rural (3,143), se abastecen de manantiales, pozos, ríos o quebradas cercanas a sus viviendas. El área urbana la constituyen 510 viviendas, de las cuales 487 cuentan con abastecimiento continuo de agua, que tiene un costo mensual de Q10.00.” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

“Los problemas de salud de la población del municipio responden principalmente a las condiciones críticas de pobreza y extrema pobreza, que se relacionan con otros elementos tales como, las condiciones sanitario-ambientales (la falta o mal estado de los drenajes y falta de tratamiento de las aguas residuales, ineficiente programa de manejo de desechos sólidos, ausencia de sistema de potabilización de agua para consumo doméstico), culturales, vulnerabilidad climática, movimientos poblacionales migratorios, entre otros; pero es importante mencionar que los problemas de salud, surgen básicamente debido a los niveles de desnutrición, de la población”

“Según información municipal el abastecimiento de cloro se realiza mensualmente para las comunidades que cuentan con sistema de distribución de agua, sin embargo, no existe un monitoreo periódico por el centro de salud o por la municipalidad para asegurar la cloración del agua. A pesar de los esfuerzos municipales, la mala calidad de agua continúa teniendo sus

manifestaciones con enfermedades gastrointestinales como parasitismo y diarreas en general, que ocupan las primeras causas de morbilidad en el municipio. Hay que recalcar que a esto suma las malas prácticas de almacenamiento y manipulación del agua dentro del hogar” (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2018).

B. GENERALIDADES DEL AGUA

“El agua es uno de los bienes más preciados para la vida en nuestro planeta. Es fundamental para satisfacer las necesidades humanas básicas, la salud, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, la energía y el mantenimiento de los ecosistemas regionales y mundiales” (Córdoba, Del Coco y Basualdo, 2010).

“Alrededor del 97% del agua en el planeta se encuentra en los océanos; del 3% restante, el 2,3% está solidificada en los casquetes polares, el 0,3% se encuentra tan profundamente confinada que su extracción resulta antieconómica y el resto se distribuye en ríos, lagos, riachuelos y subsuelo. Considerando que sólo hay dos fuentes de agua utilizables por el hombre, a saber: las superficiales y las subterráneas y que éstas sólo constituyen el 0,4% del total disponible, es fácil deducir que es un recurso escaso. Pero más escaso resulta si se piensa en términos cualitativos, ya que los procesos de contaminación de las mismas reducen aún más su disponibilidad” (Córdoba, Del Coco y Basualdo, 2010).

C. TIPOS DE AGUA

El agua es un recurso natural imprescindible y es con diferencia la sustancia simple más abundante de la biosfera, la ser tan abundante se ha vuelto cada vez más necesario elaborar una clasificación de los tipos de agua, principalmente con base en su procedencia natural, el grado de pureza que posee, sus características físicas y químicas, y el uso que se le da a la misma (Ramos, Sepulveda y Villalobos, 2002).

Los principales tipos de agua son:

- i. Agua potable:** La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2006) la define como aquella cuyas características microbianas, químicas y físicas cumplen con las pautas de la OMS o los patrones nacionales para el consumo humano, y por ello puede ser utilizada de forma segura para para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar.

- ii. **Agua no apta para el consumo humano:** Aquella que por algún motivo no cumple con los parámetros establecidos ya sea microbiológicos, físicos o químicos, por lo que su consumo supone un peligro para la salud humana. (Chulluncuy, 2011).
- iii. **Aguas superficiales:** Aquella agua procedente de la lluvia, manantiales, o deshielos, que corre por la superficie de la tierra a través de los ríos y arroyos con dirección al mar (Gobierno de México, 2012).
- iv. **Aguas subterráneas:** Aquellas aguas acumuladas en el subsuelo por debajo del nivel freático (Gobierno de México, 2012).
- v. **Aguas residuales:** Aquellas aguas procedentes de uso doméstico, comerciales o industriales que llevan elementos extraños disueltos o en suspensión que conducen a la putrefacción (Gobierno de México, 2012).

D. USOS DEL AGUA

El agua es el recurso natural más importante del mundo, posee una amplia variedad de aplicaciones. Es empleada de diversas formas, prácticamente en todas las actividades humanas, desde el uso cotidiano para satisfacer las necesidades primarias de la población; para ser bebida, en la preparación de alimentos y la higiene personal. En la agricultura, para la riego y mantenimiento de cultivos. En la industria para llevar a cabo los procesos de enfriamiento, la utilización de calderas y como solvente en el proceso de manufactura. En la generación de energía a través de hidroeléctricas que utilizan el movimiento de las fuentes naturales de agua para generar energía eléctrica. Y finalmente de forma recreativa, en piscinas y centros turísticos. En el anexo 3: Distribución del uso del agua en Guatemala estudio realizado entre 2007 al 2010, se observa la distribución del uso del agua en Guatemala (Ramos, Sepulveda, y Villalobos, 2002).

E. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Es un fenómeno formado por factores físicos, químicos y biológicos que interacciona negativamente con el agua y se acumulan en cantidades que pueden alterar considerablemente la calidad del agua provocando que esta se vuelva peligrosa para el consumo, la industria, la ganadería o los animales. Entre los contaminantes que pueden afectar la calidad del agua se

mencionan: patógenos como virus, bacterias, protozoos y parásitos, sustancias químicas inorgánicas y orgánicas (García, 2009).

Las principales fuentes de contaminación del agua se clasifican en: urbanas, industriales y agrícolas. Las fuentes urbanas son a través de las aguas residuales de los hogares y comercios. Las aguas residuales de industrias y los desechos de plásticos y químicos tóxicos representan la mayor cantidad de contaminación industrial (Fernández, 2008).

La contaminación biológica de aguas es causada básicamente por la presencia de excrementos humanos o de origen animal, y está habitualmente asociada a la rápida urbanización y la falta de tratamiento de las aguas servidas. En las aguas con contaminación biológica, ricas en materia orgánica de origen doméstico, proliferan organismos patógenos con capacidad de causar distintas afecciones incluyendo alergias, diarrea, tifus, cólera, entre otras (Paulino, Apella, Pizarro y Blesa, 2010).

F. CALIDAD DEL AGUA EN GUATEMALA

El Código de Salud, en la Sección II Artículo 86 dispone lo relacionado con agua potable: “El Ministerio de Salud establecerá las normas vinculadas a la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua potable para consumo humano vigilando en coordinación con las Municipalidades y la comunidad organizada la calidad del servicio y del agua de todos los abastos para uso humano, sean estos públicos o privados” (Decreto Número 90-97, 1997).

“En 2009 se crea el *Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración, Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano*, Acuerdo gubernativo 113-2009. En este reglamento se disponen las normas sanitarias, registros de servicios, vigilancia y control del agua que los prestadores de servicios de agua potable – Municipalidad y demás instituciones o personas públicas o privadas- deben cumplir para purificar el agua con base en los métodos establecidos por dicho Ministerio” (Argueta, 2011).

“El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social determina las normas y métodos para la purificación del agua en el *Manual de Normas Sanitarias que establecen los procesos de purificación y métodos de purificación de agua para consumo humano*, Acuerdo gubernativo 1148-2009. En este manual también se hace referencia a la remoción de sólidos, intercambio de gases –uso del proceso de aireación- y desinfección” (Argueta, 2011).

El Acuerdo Gubernativo 113-2013 (2013) establece como norma de referencia la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 *Agua para consumo humano (agua potable) Especificaciones* para efectos de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano.

“Guatemala cuenta con condiciones naturales favorables que le permiten disponer de abundante agua para las personas, el ambiente y la productividad económica. Anualmente se producen 97 mil millones de m³ de agua. Sin embargo, de esto solo se aprovecha un 10% a nivel nacional” (Gobierno de Guatemala, 2013).

“Según la Encuesta nacional de condiciones de vida (ENCOVI) 2011-2012, el 70% de los hogares guatemaltecos tiene acceso a agua entubada y drenajes a nivel urbano, mientras que, en el área rural, solo el 30% de los hogares tienen acceso a estos servicios. Para todos los departamentos la cobertura con mejores fuentes de agua es mayor en la zona urbana que en la rural. El déficit de la cobertura para los servicios de saneamiento está cerca del 83% en la zona rural, mientras en la zona urbana la cobertura es del 76,7%, lo que demuestra una situación clara de inequidad.” (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2012).

“De 334 municipalidades registradas en la ENCOVI, sólo el 4% aplican tratamiento a las aguas residuales, mientras que el resto es vertido en los cuerpos de agua, principalmente ríos” (INE, 2012). El municipio de Camotán cuenta con una planta de tratamiento ubicada en el Barrio la Barrera, la cual permite el tratamiento de aguas residuales del casco urbano del municipio (Sistema de Información de Inversión Pública, s.f).

“Respecto a calidad del agua, de acuerdo al Plan Nacional de Agua y saneamiento el Ministerio de Salud 2015, para el año 2014 solamente un 40% de las muestras de agua analizadas para determinar cloro residual en agua cumplían con la normativa nacional; para el año 2013 al menos del 40% del agua de consumo humano recibió desinfección en las áreas urbanas. Los niveles de bacterias del grupo coliforme y de bacterias patógenas son elevados y son característicos de aguas residuales sin tratamiento, más que de agua de río, lo que pone en riesgo la salud de la población” (OMS, 2015).

G. MICROORGANISMOS PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR EL AGUA

1. Bacterias

Escherichia coli, es una bacteria gram-negativa perteneciente al grupo de coliformes fecales y se encuentra normalmente dentro de los intestinos animales y humanos, esta bacteria puede provocar gastroenteritis y una infección de *E. coli* fuera de los intestinos humanos puede ser perjudicial para la salud, la vía de infección es fecal-oral, por lo que la presencia de *E. coli* en el agua es un fuerte indicador de una reciente contaminación de aguas residuales o contaminación de residuos de animales (Rock y Rivera, 2014).

También se encuentra *Legionella pneumophila*, la cual es capaz de provocar legionelosis o fiebre de Pontiac. *Campylobacter*, la causa bacteriana más frecuente de gastroenteritis en el mundo, *Salmonella typhi* causante de la fiebre tifoidea, (Córdoba, Del Coto y Basualdo). *Shigella* sp. causante de la enfermedad shigelosis, caracterizada por diarrea acuosa o sanguinolenta, (Ramírez, 2001). y *Vibrio cholerae*, bacteria causante de la enfermedad del cólera. (Awad, Murillo y Gamarra, 2020).

2. Virus

Entre los principales virus que se transmiten por el agua se encuentra el virus de la hepatitis A (VHA), que se transmite principalmente por vía fecal-oral. Cualquier persona no vacunada o previamente infectada puede contraer la enfermedad, la mayoría de las infecciones se producen durante la primera infancia (OMS, 2020).

3. Parásitos

Entre los parásitos que pueden transmitirse por agua tenemos a *Giardia duodenalis* causante de la giardiasis. *Cryptosporidium parvum*, que provoca la criptosporidiosis, *Toxoplasma gondii*, causa de la toxoplasmosis. (Food Safety and Inspection Service, 2013) y *Taenia solium* y *Taenia saginata*, causante de la teniasis (Meza, y Rebolledo, 2002).

H. EPIDEMIOLOGÍA DE LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN EL PAÍS

“Las enfermedades transmitidas por alimentos y agua (ETA), constituyen un importante problema de Salud Pública, debido a su magnitud, trascendencia, tendencia fluctuante y aumentos en su comportamiento durante el año, lo que ha significado etapas de emergencia, reemergencia, aparición de agentes nuevos con potencial epidémico y el incremento a la resistencia a los antimicrobianos con impacto negativo económico, en grupos de población” (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2018).

“Dentro de las enfermedades de transmisión hídrica se consideran todas aquellas que son de consecuencia del consumo voluntario o accidental de agua contaminada o debido a la exposición directa a aguas contaminadas o materia fecal (en muchos casos, las lluvias arrastran materia fecal de personas o animales enfermos hacia las fuentes de agua)” (Lentini, 2010).

“En Guatemala las ETA han sido vigiladas en forma pasiva, activando la vigilancia al momento de identificar brotes o aumento inusitado de casos. La Vigilancia Epidemiológica de las enfermedades transmitidas por alimentos y agua, involucra a: Enfermedad Diarreica Aguda, Hepatitis Vírica A, Fiebre Tifoidea, Intoxicación por alimentos de origen bacteriano o no, Cólera, Disentería (diarrea con sangre), y Rotavirus” (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2018).

En Guatemala, “cinco de las veinte causas de morbilidad general pueden responder a enfermedades de transmisión hídrica: enfermedad diarreica aguda, parasitismo intestinal, amebiasis intestinal, dengue clásico y malaria clínica y confirmada” (Lentini, 2010).

El análisis de la situación epidemiológica de las enfermedades transmitidas por agua y alimentos en Guatemala 2016, indicó que durante el año se reportaron un total de 583,698 casos, 5.8% de disminución con relación al año anterior en el mismo periodo. La tasa de incidencia para este año ha sido de 3,525 por 100,000 habitantes (3,831 para el 2015) lo que representa una disminución del 8% (Aldana, 2017).

“Por grupo de edad el comportamiento de las ETA afecta en su mayoría a los menores de 5 años. El mayor riesgo de enfermar se presenta en el grupo de edad de 1 a 4 años (42%) seguido de los menores de 1 año (20%) prevaleciendo en el sexo femenino (53%)” (Aldana, 2017).

La ETA más frecuente es la enfermedad diarreica aguda, correspondiendo al 98%, es causada por diversas etiologías, y en el año 2016 se presentaron un total de 573,104 casos 5.8% menos en comparación al año 2015, la tasa de incidencia para este año es 3,461 por 100,000 habitantes (3,755 año 2015) lo que representa una disminución del 7.8% (Aldana, 2017).

I. NORMA COGUANOR 29001

“La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el Organismo Nacional de Normalización, es una entidad adscrita al Ministerio de Economía la cual brinda soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización” (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

La Norma COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable) establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para el consumo humano. Esta norma es aplicable para toda agua de consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros, la cual puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o en depósitos (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

Entre las definiciones en esta norma se encuentran las características microbiológicas del agua, que se refiere a: “aquellas que se originan por la presencia de microorganismos que determinan su calidad” (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

El Límite Máximo Permisible (LMP) (el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano) para la calidad microbiológica del agua en dicha norma se establece como: “Coliformes totales y *E. coli* no deben ser detectables en 100mL de agua para consumo directo, agua tratada que entra al sistema de distribución y agua tratada en el sistema de distribución “(Anexo 4. Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua) (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

J. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico de agua se realiza con el fin de determinar coliformes totales y *Escherichia coli*. Las bacterias coliformes no son patógenas, sin embargo, se asocian con organismos que sí lo son, por tanto, son un índice de seguridad bacteriológica. Para determinar este parámetro se utilizan principalmente las técnicas siguientes: método de filtración por membrana y la técnica de sustrato definido (Roldán y Ramírez, 2008).

El método de fermentación en tubos múltiples determina la presencia y el número de bacterias coliformes mediante la siembra de una serie de porciones de un volumen determinado de muestra en tubos que tienen un medio favorable de cultivo. El método de los tubos múltiples se basa en leyes de probabilidades y se utiliza para obtener una estimación del número de bacterias en una muestra que se expresa como el número más probable (NMP) (Roldán y Ramírez, 2008).

El examen se realiza en dos etapas (prueba presuntiva y prueba confirmativa) de realización obligatoria para toda muestra de agua. La prueba presuntiva consiste en inocular volúmenes determinados de la muestra (10; 1; 0.1; 0.01) en series de tres tubos de caldo lactosado e incubados a 35 °C durante 24 a 48 horas. La producción de gas en el medio de cultivo es una prueba presuntiva para coliformes. La prueba confirmativa consiste en el traspaso de cada cultivo de la prueba presuntiva, a tubos con caldo lactosado verde bilis brillante y se incuba a 35 °C de 24 a 48 horas. La producción del gas en este medio indica una prueba confirmatoria positiva para coliformes (Roldán y Ramírez, 2008).

Las tablas del NMP permiten calcular en una muestra el número de microorganismos que por cálculos estadísticos es probable que conduzca a ese resultado (anexo 5: Tabla con valores de concentración empleados en la tabla estadística NMP).

K. TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Debido a que las enfermedades gastrointestinales ocupan los primeros lugares en las principales causas de morbilidad en Guatemala según el Sistema de Información Gerencial de Salud (2019), la desinfección y tratamiento del agua podría evitar que ésta sea un vehículo para la transmisión de enfermedades.

“La desinfección de los sistemas de abastecimiento de agua sigue siendo una de las medidas de salud pública más importantes para impedir brotes y epidemias” (González, Martín, y Figueroa, 2006).

Existen varias opciones tecnológicas de desinfección entre las que se incluyen: cloración, ozonización, yodación, radiación solar y ultravioleta. Respecto a la cloración, hay diversos métodos como gas cloro, hipocloritos de calcio y sodio, cloraminas y algunos métodos para la generación de desinfectantes *in situ*. En la actualidad la tecnología de desinfección de mayor uso en Latinoamérica y el Caribe es la cloración (González, Martín, y Figueroa, 2006). Con base en lo anterior el análisis microbiológico es importante para determinar qué tipo de método utilizar en el momento de la desinfección.

L. ESTUDIOS PREVIOS EN CHIQUIMULA

En el 2009, Girón realizó la evaluación y mapeo de la calidad de agua en pozos artesanales para abastecimiento humano en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula, los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros analizados estaban dentro de los límites establecidos como permisibles para el consumo humano por la Norma COGUANOR NGO 29.001.98, a excepción de los nitratos y las bacterias coliformes, se concluyó que el agua no era apta para el consumo humano.

En el 2010 se realizó un proyecto en el que se evaluó la calidad fisicoquímica, bacteriológica y medición del caudal en agua de pozos para consumo humano, del casco urbano del municipio de Chiquimula, en el que se concluyó que el agua de los pozos encontraba contaminada con aguas servidas, lo cual la hace no apta para consumo humano (Rodas, 2010). Este proyecto fue realizado por la Dirección General de Investigación [DIGI].

En el 2011 se realizó un estudio en la laguna Tuticopote del municipio de Olopa, Chiquimula, donde se determinó la calidad del agua en la época lluviosa, para esto se analizaron las unidades formadoras de colonias para coliformes fecales y totales, en los cuales no hubo crecimiento, se concluyó que el agua no tenía contaminación fecal (Sandoval, 2011).

En 2012 se realizó la evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula, los resultados concluyeron que la mayor parte de agua de pozos se encontraba contaminada, por lo que no era apta para el consumo humano ya que no cumple con los parámetros microbiológicos permitidos por la norma COGUANOR NGO 29001 (Hernández, 2012).

En 2012, un tesista del Centro Universitario de Oriente [CUNORI] realizó la determinación de la calidad del agua utilizada para la producción de tomate y chile en los valles productores del departamento de Chiquimula, los resultados de los parámetros pH, dureza, turbidez y coliformes fecales, reportaron valores que superaron los límites máximos aceptables, en la mayoría de las fuentes monitoreadas, observando mayores concentraciones en la época lluviosa (Monroy, 2016).

M. DESNUTRICIÓN AGUDA Y CRÓNICA

1. Situación actual en Guatemala y Camotán

La inseguridad alimentaria y nutricional limita la capacidad de desarrollo de un país, ya que determina las capacidades físicas, mentales y sociales de sus habitantes. Por medio de la seguridad alimentaria y nutricional se garantiza la reducción de las brechas de inequidad que enfrenta la gente, pues permite la creación de medios de vida sostenibles (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

“Las implicaciones que tiene la desnutrición en la vida de las y los niños son cruciales para su futuro, especialmente porque son permanentes. Esta patología fragiliza su salud general que merma sus capacidades intelectuales y afecta su desarrollo integral” (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF)” en Guatemala, el 49,8% de niños menores de 5 años sufre desnutrición crónica, siendo la tasa más alta de América Latina y unas de las más elevadas del mundo” (Santizo, s.f).

En Guatemala, “13.1% de los niños de 3 a 59 meses de edad presenta desnutrición en donde los niños indígenas son los más afectados, en un 16.8%, mientras, los no indígenas padecen el problema en un 10.1% según la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil en 2015” (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2017).

Según esta encuesta realizada en 2015, Chiquimula tiene un índice de desnutrición crónica de 56.20%. Sin embargo, organizaciones que trabajan directamente en este departamento han reportado hasta un 80% estos últimos años (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2017; Acción contra el hambre, 2020). Hasta el 31 de octubre de 2020 el sistema de Información Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional reportó 24,364 casos de desnutrición aguda en niños menores de 5 años (Sistema de Información Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2020).

El Ministerio de Salud y Asistencia Social por medio de la plataforma SIGSA reportó más de 1200 casos de desnutrición aguda en menores de 5 años del 2012 al 2019 en el municipio de Camotán, Chiquimula (Sistema de Información Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2020).

La problemática de la desnutrición es alarmante a nivel mundial y a nivel nacional, por lo tanto, se han realizado alianzas entre distintos países para llevar a cabo acciones a favor de la salud de la población. Estas acciones abarcan desde reducir la desnutrición hasta el acceso a agua potable de calidad y saneamiento.

N. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y PLAN NACIONAL DE DESARROLLO: K'ATUN NUESTRA GUATEMALA 2032

“Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Anexo 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible), adoptaron por todos los Estados miembros de la Organización de Naciones Unidas como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger al planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz, prosperidad” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

Guatemala con base en las propuestas iniciales en torno a los ODS, el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (Conadur) incorporó el Plan Nacional de Desarrollo: K'atun, Nuestra Guatemala 2032 con temas sustantivos relacionados con el acceso a la salud, educación, la disminución de la inseguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y el crecimiento económico (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

Los objetivos que se relacionan con la seguridad alimentaria son los siguientes:

1. Objetivos de Desarrollo Sostenible 2: Hambre cero

“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” es el objetivo que la ONU ha planteado en la agenda 2030 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

Entre las metas de este objetivo están:

- Para 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular los pobres y las personas en situaciones vulnerables, incluidos los lactantes, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año.
- Para 2030, poner fin a todas las formas de malnutrición, incluso logrando, a más tardar en 2025, las metas convenidas internacionalmente sobre el retraso del crecimiento y la emaciación de los niños menores de 5 años, y abordar las necesidades de nutrición de las adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes y las personas de edad (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

Guatemala como parte del Plan Nacional de Desarrollo: K'atun, Nuestra Guatemala 2032 adopto este objetivo como: “Garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de los niños y niñas menores de cinco años, con énfasis en los grupos en condiciones de vulnerabilidad y en alto riesgo nutricional” (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

La meta correspondiente a esta prioridad es: “Para el año 2032, reducir en no menos de 25 puntos porcentuales la desnutrición crónica en niños menores de cinco años, con énfasis en los niños y niñas de los pueblos maya, xinka y garífuna, y del área rural” (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

Entre los principales lineamientos para lograr esta meta se encuentra incrementar la cobertura de agua potable y saneamiento básico, considerando las características socioculturales de cada localidad. Por tanto, la importancia del acceso a agua de calidad y su correcto aprovechamiento biológico como uno de los pilares de la seguridad alimentaria.

2. Objetivos de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento

El ODS 6 se describe como: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todo” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020). El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del desarrollo. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, las opciones de medios de subsistencia y las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo.

Las metas de este objetivo son:

- Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable.
- Lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

Entre las prioridades del Plan Nacional de Desarrollo: K'atun, Nuestra Guatemala 2032 está: “Gestión sostenible de los recursos hídricos para el logro de objetivos sociales, económicos y ambientales” (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

Las metas principales que corresponden a esta prioridad son:

- En el 2032, las instituciones públicas y la sociedad disponen de una Ley de Aguas consensuada, con enfoque de gestión integrada de recursos hídricos.
 - Al menos un 30% de las aguas utilizadas son tratadas y reutilizadas.
 - Incrementar al 90% el acceso a agua potable y saneamiento mejorado.
- (Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural, 2014).

IV. JUSTIFICACIÓN

El agua es un compuesto universal fundamental para la vida, es un elemento decisivo tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales. En nuestro país el acceso al agua potable y su calidad es una problemática actual debido a la falta de control sobre este recurso.

El agua apta para consumo humano ha sido definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) como aquella “adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”, es decir que no representa ningún peligro a los consumidores. El abastecimiento y calidad deficientes del agua pueden causar enfermedades provocadas por distintos microorganismos.

Las enfermedades diarreicas en población con desnutrición representan altas tasas de morbilidad y mortalidad. En el país, el 49,8% de niños menores de 5 años sufre desnutrición crónica, siendo la tasa más alta de América Latina y unas de las más elevadas del mundo, en Chiquimula alcanza hasta el 80% (Santizo, s.f.; Acción Contra el Hambre, 2020). Según el SIGSA hasta el 31 de octubre de 2020 se reportaron 24,364 casos de desnutrición aguda en niños menores de 5 años y reportó más de 1,200 del año 2012 al 2019 en el municipio de Camotán, Chiquimula (Sistema de Información Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2020). Además, según la encuesta de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (2018) Camotán tiene una tasa del 56.20% en desnutrición crónica.

Por este motivo, es necesario realizar acciones para prevenir que el porcentaje de desnutrición y que el riesgo de mortalidad infantil siga aumentando. UNICEF ha hecho varias propuestas, entre estas, “la creación de instalaciones de agua y saneamiento, para asegurar el acceso a las madres y a los niños a una atención sanitaria adecuada”. (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2018). Esto incluye, asegurar la calidad microbiológica del agua que fue consumida por esta población tan vulnerable debido a la desnutrición.

Esta investigación aportó información adicional a las autoridades municipales y al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con relación a la calidad microbiológica del agua en el municipio de Camotán, para poder disminuir la prevalencia de enfermedades diarreicas en el

municipio a través del análisis microbiológico del agua formando alianzas estratégicas con la municipalidad, evitando el agravamiento del cuadro de desnutrición de los niños. De esta manera trabajar por alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): ODS 2 “Hambre cero” y ODS 6 “Agua limpia y saneamiento” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

Debido a la tasa de desnutrición y las condiciones precarias de saneamiento, el departamento de Chiquimula se encuentra entre las 5 primeras áreas que presentan mayor riesgo de incidencia para las enfermedades transmitidas por alimentos y agua (ETA). Por lo tanto, conocer la calidad del agua, identificar si cumplen con los parámetros de coliformes totales y *E. coli* según la norma COGUANOR NTG 29001, es un recurso para establecer medidas de intervención y tratamiento adecuado al agua, prevenir la propagación de contaminantes y enfermedades en la población (Aldana, 2017).

V. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento en el municipio de Camotán, Chiquimula.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento del municipio de Camotán, Chiquimula a través de los parámetros de coliformes totales y *E. coli* utilizando la metodología de presencia/ausencia Readycult®.
2. Establecer si las muestras de agua analizadas en el municipio de Camotán, Chiquimula cumplen con los parámetros de coliformes totales y *E. coli* según la norma COGUANOR NTG 29001, 2013.
3. Contribuir al conocimiento de la población de la municipalidad de Camotán, Chiquimula, acerca de sobre la calidad microbiológica del agua en el municipio.

VI. HIPÓTESIS

El agua proveniente de los tanques de abastecimiento en el municipio de Camotán, Chiquimula posee buena calidad microbiológica según la Norma COGUANOR 29001, 2013.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. UNIVERSO

Agua proveniente de tanques de abastecimiento en el municipio de Camotán, Chiquimula.

B. MUESTRAS

56 muestras provenientes de 4 tanques de abastecimiento (14 muestras por tanque).

C. RECURSOS

1. Humanos

- a) Nidia Gabriela Fajardo Arriola (Tesisista)
- b) Lau Shi Meng Marroquín (Tesisista)
- c) Doctora Karin Larissa Herrera (Asesora)
- d) Personal de la Municipalidad de Camotán, Chiquimula

2. Institucionales

- a) Municipalidad de Camotán
- b) Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

D. MATERIALES

1. Equipo

- a) Refrigerador
- b) Lámpara UV
- c) Incubadora a 35°C

2. Materiales

- a) Frascos plásticos estériles con tiosulfato de sodio
- b) Hielera
- c) Hielo
- d) Mechero Bunsen
- e) Frascos con goteros

3. Reactivos y medios de cultivo

- a) Etanol al 70%
- b) Reactivo de Kovacs
- c) Coliformes Readycult® 100

E. METODOLOGÍA

1. Selección de áreas de muestreo

De acuerdo a la distribución de probabilidad binomial, se requirieron como mínimo de 14 muestras de cada tanque para probar la hipótesis que la probabilidad de cumplimiento de la norma del agua que sale de los tanques es de más de 0.80, a un nivel de significancia de 0.05 (α).

El cálculo de muestras de los tanques se hizo bajo la premisa que el agua que sale de los tanques para ser distribuida debe ser de calidad cumpliendo la norma COGUANOR NGO 29001, estimándose que la probabilidad de que el agua cumple con la norma debe ser superior al 80 %. Se escogió este tipo de muestreo debido al presupuesto que se tiene para los materiales, la distancia entre el punto de muestreo y el laboratorio, el acceso y los días en los cuales el encargado municipal puede atendernos.

2. Procedimiento de toma de muestra

El muestreo se realizó cada día para cada uno de los tanques por un periodo de 3 semanas. Para la toma de muestras de agua el envase a utilizarse debió estar esterilizado y durante la toma se prestó atención a mantener una adecuada asepsia para evitar la contaminación accidental de la muestra. Las muestras fueron transportadas en recipientes estériles y en refrigeración, tomada la muestra se identificaron con los siguientes datos: lugar, fecha y hora de captación, condiciones almacenamiento. Se procesaron a su llegada al laboratorio.

3. Técnica para el análisis microbiológico

La técnica para realizar la determinación de coliformes totales y *Escherichia coli* a utilizar fue el test de presencia/ ausencia Coliformes Readycult® 100. Este método utiliza ampollas

con reactivo que contienen tanto un sustrato cromogénico como uno fluorogénico que se agregan a la muestra de 100mL de agua (Merck, 2010).

Para la determinación de coliformes totales, los frascos con las muestras y el reactivo se incuban a 35°C durante 24 horas, el sustrato 5-bromo-4-clor-3-indol-β-D-galactopiranosido (X-GAL) presente en el caldo es un cromógeno que es hidrolizado por la enzima β-D-galactosidasa producida por las bacterias coliformes totales, ocasionando un cambio de color en el caldo, que va de amarillo a azul-verde, lo cual indica una prueba positiva para la presencia de coliformes totales (Merck, 2010).

El reactivo también contiene 4-metilumberiferil-β-D-glucoronido (MUG), el cual es un sustrato fluorogénico que es hidrolizado por la enzima β-D-glucoronidasa producida por la bacteria *E. coli*, ocasionando una fluorescencia en el caldo bajo luz ultravioleta de onda larga de 336 nm, por lo cual esto nos indica la presencia de la bacteria (Merck, 2010).

Para confirmar la presencia de *E. coli* en las muestras se realizó la prueba de la presencia de indol, el cual es producido por la bacteria a partir del triptófano presente en el caldo, para realizar la prueba se agregan unas gotas de reactivo de Kovacs para observar la formación de un anillo rojo (Merck, 2010).

Para registrar cada uno de los parámetros de las muestras evaluadas y las observaciones que se realizaron se utilizó el Formato de muestreo y resultados (Anexo 7).

F. DISEÑO ESTADÍSTICO

1. **Tipo de estudio:** Descriptivo.
2. **Tipo de muestreo:** Diario.

Para determinar si el agua que sale de los tanques tiene una probabilidad mayor de 0.80 (80 %) de cumplir con la norma COGUANOR 29001, 2013, se hizo una prueba de hipótesis binomial:

$$H_0: p = 0.80$$

Ha: $p > 0.80$

En este caso se requirió que, de las 14 muestras de agua de cada tanque, todas debieron cumplir con la norma tanto para coliformes totales como *E. coli*, lo que daría un valor $p = 0.0440$, suficiente para rechazar la H_0 a un nivel de significancia de 0.05. El análisis microbiológico de las muestras de agua obtenidas se clasificó 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

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en las 14 muestras correspondientes al tanque de abastecimiento 1: Chio Marimba. Con relación a los parámetros utilizados para la determinación y confirmación de coliformes totales y *E. coli*, (cambio de color, fluorescencia bajo luz ultravioleta y producción de indol) únicamente las muestras de los días 6, 7, 8 y 10 cumplen con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. La presencia de cloro se detectó en 7 de las 14 muestras, la mayor concentración se encontró en la muestra del día 10.

Tabla 1

Evaluación microbiológica y medición de cloro del Tanque de abastecimiento 1: Chio Marimba

Día	C.C.¹	Luz UV	Prueba de indol	C.T.²	<i>E. coli</i>	Cumplimiento	Cloro³
1	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
2	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
3	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
4	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
5	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	0.5
6	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.3
7	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
8	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
9	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
10	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
11	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
12	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
13	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	0.5
14	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	0.3

¹: Cambio de color; ²: Coliformes totales; ³: Miligramo por litro.

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en las 14 muestras correspondientes al tanque de abastecimiento 2: Plan de la Arada A. Con relación a los parámetros utilizados para la

determinación y confirmación de coliformes totales y *E. coli* (cambio de color, fluorescencia bajo luz ultravioleta y producción de indol), únicamente las muestras correspondientes a los días 1, 6, 7, 8, 9 y 14 cumplen con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. La presencia de cloro se detectó en 8 de las 14 muestras, la mayor concentración se encontró en las muestras de los días 7 y 10.

Tabla 2

Evaluación microbiológica y medición de cloro del Tanque de abastecimiento 2: Plan de la Arada A

Día	C.C ¹	Luz UV	Prueba de indol	C.T. ²	<i>E. coli</i>	Cumplimiento	Cloro
1	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
2	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
3	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
4	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
5	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
6	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
7	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	3
8	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
9	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
10	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	3
11	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
12	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	0.5
13	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
14	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	0.3

¹: Cambio de color; ²: Coliformes totales; ³: Miligramo por litro

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en las 14 muestras correspondientes al tanque de abastecimiento 3: Plan de la Arada B. Con relación a los parámetros utilizados para la determinación y confirmación de coliformes totales y *E. coli* (cambio de color, fluorescencia bajo luz ultravioleta y producción de indol), las muestras de los días 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 13 cumplen

con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. La presencia de cloro se detectó en 5 de las 14 muestras, la mayor concentración de se encontró en los días 7 y 10.

Tabla 3

Evaluación microbiológica y medición de cloro del Tanque de abastecimiento 3: Plan de la Arada B

Día	C.C ¹	Luz UV	Prueba de indol	C.T. ²	<i>E. coli</i>	Cumplimiento	Cloro ³
1	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
2	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
3	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
4	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
5	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.0
6	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
7	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	3
8	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
9	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	0.5
10	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	3
11	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-
12	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	0.5
13	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
14	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	-

¹: Cambio de color; ²: Coliformes totales; ³: Miligramo por litro

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en las 14 muestras correspondientes al tanque de abastecimiento 4: Las Brisas. Con relación a los parámetros utilizados para la determinación y confirmación de coliformes totales y *E. coli* (cambio de color, fluorescencia bajo luz ultravioleta y producción de indol), únicamente las muestras correspondientes a los días 6, 7, 8, 9, 13 y 14 cumplen con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. La presencia de cloro se detectó en 8 de las 14 muestras, la mayor concentración se encontró el día 12.

Tabla 4*Evaluación microbiológica y medición de cloro del Tanque de abastecimiento 4: Las Brisas*

Día	C.C¹	Luz UV	Prueba de indol	C.T.²	<i>E. coli</i>	Cumplimiento	Cloro³
1	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
2	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
3	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
4	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
5	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	0.5
6	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
7	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
8	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
9	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	-
10	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	0.5
11	Positivo	Positivo	Positivo	Presencia	Presencia	No Cumple	-
12	Positivo	Negativo	Negativo	Presencia	Ausencia	No Cumple	3
13	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5
14	Negativo	Negativo	Negativo	Ausencia	Ausencia	Cumple	1.5

¹: Cambio de color; ²: Coliformes totales; ³: Miligramo por litro

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la tabla 5 se describen los resultados obtenidos de las 14 muestras de cada uno de los 4 tanques con base a la presencia o ausencia de Coliformes Totales. El tanque 3 presentó un mayor porcentaje de ausencia de contaminación fecal, con un 64.28%, mientras que el tanque 1, presentó un porcentaje de 28.57% de ausencia. La mayoría de las muestras estaban contaminadas con materia fecal.

Tabla 5

Presencia de Coliformes Totales en los tanques de abastecimiento de agua de Camotán, Chiquimula.

Día de Muestreo	Tanque			
	1	2	3	4
1	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
2	Presencia	Presencia	Ausencia	Presencia
3	Presencia	Presencia	Ausencia	Presencia
4	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
5	Presencia	Presencia	Ausencia	Presencia
6	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
7	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
8	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
9	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
10	Ausencia	Presencia	Presencia	Presencia
11	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
12	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
13	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
14	Presencia	Presencia	Presencia	Ausencia
Ausencia	4	6	9	6
Presencia	10	8	5	8
% de Ausencia	28.57	42.86	64.28	42.86

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la tabla 6 se describen los resultados obtenidos de las 14 muestras de cada uno de los 4 tanques en base a la presencia o ausencia de *E. coli*. El tanque 3 presentó un mayor porcentaje de ausencia de esta bacteria indicadora de contaminación fecal, con un 92.86%, mientras que el tanque 4, presentó un porcentaje de 64.28% de ausencia.

Tabla 6*Presencia de Escherichia coli en los tanques de abastecimiento de agua de Camotán, Chiquimula.*

Día de Muestreo	Tanques			
	1	2	3	4
1	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
2	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
3	Presencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
4	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia
5	Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia
6	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
7	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
8	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
9	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
10	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
11	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia
12	Ausencia	Presencia	Presencia	Ausencia
13	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
14	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Ausencia	11	11	13	9
Presencia	3	3	1	5
% de Ausencia	78.57	78.57	92.86	64.28

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la tabla 7 se describen los resultados obtenidos de las 14 muestras de cada uno de los 4 tanques con base a su cumplimiento según la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. El tanque 3 posee el mayor porcentaje de cumplimiento de los parámetros microbiológicos de sus muestras, con un 64.28%; el tanque 1 posee un 28.57% de cumplimiento con los parámetros microbiológicos.

Tabla 7

Cumplimiento según la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013 de los parámetros microbiológicos evaluados en los tanques de abastecimiento de agua de Camotán, Chiquimula.

Día de muestreo	Tanque			
	1	2	3	4
1	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple
2	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
3	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
4	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
5	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
6	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
8	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10	Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
11	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
12	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple
13	No Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
14	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple
Cumplen	4	6	9	6
No Cumplen	10	8	5	8
% de Cumplimiento	28.57	42.86	64.28	42.86

Fuente: datos generados durante la investigación.

En la tabla 8 se describen los resultados obtenidos relacionando la presencia de Coliformes Totales y *E. coli*. Con base a los criterios microbiológicos indicados en la norma COGUANOR NTG 29001, 2013, el 44.64% de las muestras lo cumplen, el 55.36% de las muestras contienen contaminación fecal, y el 21.3% contiene contaminación por *E. coli*. De los 4 tanques analizados, el que presenta un mayor porcentaje sin contaminación es el tanque 3 con un 64%, mientras que el tanque 1 presenta un 71% con contaminación fecal y el tanque 4 presenta un 36% de

contaminación por *E. coli*. Durante el período de prueba en todos los tanques el nivel de confianza fue menor al 80%, por tanto, no cumple.

Tabla 8

Frecuencia de muestras en tanques con ausencia o presencia de Coliformes Totales y E. coli.

Tanque	C.T.¹	%	<i>E. coli</i>	%	S.C.²	%³	Total de número de muestras
Tanque 1	10	71	3	21	4	29	14
Tanque 2	8	57	3	21	6	43	14
Tanque 3	5	36	1	7	9	64	14
Tanque 4	8	57	5	36	6	43	14
Total	31	55.36	12	21.43	25	44.64	56

¹: Coliformes Totales; ²: Muestras sin contaminación; ³: Porcentaje.

Fuente: datos generados durante la investigación.

IX. DISCUSIÓN

Los resultados microbiológicos de los cuatro tanques evaluados muestran que tienen coliformes totales y *Escherichia coli*, lo cual hace al agua no apta para su consumo humano. Debido a que se encontraron dichas bacterias en el agua en 1 día o más de los 14 días evaluados ninguno cumple con obtener un de 80% de confianza para establecer que el agua sea segura.

En las tablas 1 a la 4 se observa que los niveles de cloro no se mantienen constantes durante los días, sino que varían en todos los tanques evaluados. Estas variaciones hacen que no se cumpla con la norma COGUANOR NTG 29001, 2013 todos los días muestreados. Algunos días muestreados los niveles se encuentran por debajo y en otros se encuentra por encima de los límites establecidos por dicha norma. El problema es que la concentración de cloro este debajo del límite es que no realiza adecuadamente su acción bactericida, permitiendo la proliferación de bacterias en los tanques de agua, como se observa al encontrar la presencia de coliformes totales y de *Escherichia coli* en las muestras (González, Martín, y Figueroa, 2006).

Es importante señalar que la desinfección del agua no depende únicamente de la concentración de la sustancia desinfectante. Existen diferentes factores que pueden afectar la efectividad del proceso, principalmente: la concentración previa de microorganismos (coliformes totales y *E. coli* presentes previo al momento de desinfección), el tiempo de acción del desinfectante, la temperatura y las características químicas del agua (Cooperación Alemana al Desarrollo en Perú, 2017).

Debido a que el cloro disuelto en agua no interacciona únicamente con las bacterias, generalmente el cloro oxidara a los agentes reductores disueltos en el agua como lo pueden ser el amonio, manganeso, hierro, etc. Provocando que en función de la concentración de estas sustancias inorgánicas en el agua varié lo que se conoce como demanda de cloro, mientras mayor sea la demanda de cloro, como lo indica su nombre, mayor será igualmente la concentración necesaria para realizar de manera eficiente la desinfección del agua, de igual forma, otra de las características de las agua que afectan la efectividad de la cloración es el pH, el cual idealmente debe de encontrarse alrededor de 7.0 y se ve grandemente disminuida en un pH superior a 8 (Cooperación Alemana al Desarrollo en Perú, 2017).

En los casos en que la concentración de cloro sobrepasa el límite máximo aceptable establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, la presencia de cloro comienza a ser perceptible para los consumidores, principalmente a través del sabor del agua, lo cual genera un rechazo por parte de la población hacia el uso de cloro. Los problemas de salud con respecto al cloro podrían aparecer una vez la concentración de cloro residual supera el miligramo por cada mililitro, o el cloruro disuelto supera los 250 miligramos por cada mililitro de concentración, en cuyo caso el agua deja de poderse considerar como apta para el consumo humano. (Norma COGUANOR NTG 29001, 2013).

Debido a que el cloro excedente del proceso de cloración es propenso a reaccionar con precursores orgánicos presentes en el agua, como ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas, estas reacciones generan la formación de sustancias indeseables, muchas de las cuales tienen comprobada su capacidad tóxica y/o mutagénica. Dentro de estas sustancias se encuentran los trihalometanos, los cuales se producen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica presente, formando sustancias como: el cloroformo, el bromodiclorometano, el clorodibromometano y el bromoformo, estas sustancias causan daños al hígado, riñones y sistema nervioso central además de que son considerados cancerígenos. Sin embargo, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos no son comparables con los riesgos asociados a una desinfección insuficiente, por lo que es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección (Olmedo, 2008).

Estos resultados demuestran que el proceso de desinfección de los tanques ha sido inefectivo. El proceso se realizó utilizando cloro, de forma no estructurada, añadiendo la misma cantidad de cloro granulado en cada tanque, independientemente de la cantidad de agua contenida. Por lo tanto, la concentración de cloro no se mantiene constante. Además, es primordial señalar que la desinfección química de un sistema de abastecimiento de agua que presenta contaminación fecal reducirá el riesgo general de enfermedades, pero la misma no necesariamente garantiza la seguridad del abastecimiento (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Para realizar una desinfección apropiada utilizando cloro es importante llevar a cabo en primer lugar la determinación de la demanda de cloro de cada tanque, debido a que actualmente las propiedades fisicoquímicas y la concentración de microorganismos es distinta entre los tanques. Una vez establecida la demanda de cloro se procede a calcular la dosis de cloro, que es la cantidad de cloro que se le debe adicionar al agua del tanque y que incluye tanto la demanda de cloro, como el cloro residual, que es la cantidad de cloro remanente en el agua después de que se ha realizado la desinfección.

La importancia del cloro residual en los tanques es que este reduce la posibilidad de que las bacterias proliferen nuevamente durante la distribución del agua por medio de las tuberías, sin embargo, este no debe de exceder una concentración de 1 mg/ml para evitar que genere por sí mismo un riesgo a la salud de la población y que no se incumpla con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. Ya establecida la dosis de cloro para cada tanque es importante realizar un monitoreo diario de la concentración de cloro, utilizando varios puntos de muestreo del tanque para garantizar que la concentración es homogénea en todo el tanque. Finalmente se debe de adicionar el cloro granulado suficiente cada día para reestablecer la dosis anteriormente determinada y garantizar que la desinfección sea constante (Organización Mundial de la Salud, 2018).

En la tabla 5 se puede observar cómo varía la presencia de coliformes totales entre uno y otro tanque a lo largo de todos los días de muestreo, siendo el tanque 4 el que presentó un mayor cambio. En este tanque se detectó la presencia de coliformes durante los primeros 5 días de muestreo de manera consecutiva, esto correspondiente a un período de tiempo en la que el agua de este tanque no se cloraba. Posteriormente, que se inició con la cloración en este tanque únicamente se determinó que existía presencia de coliformes en 3 de los siguientes 9 días, una reducción importante que muestra que la desinfección con cloro fue beneficiosa para la calidad microbiológica del agua en este tanque (Organización Mundial de la Salud, 2018).

La contaminación por coliformes encontrada en los tanques es congruente con lo encontrado en estudios anteriores, como el realizado por Rodas en 2010, en donde se realizó un análisis de la calidad bacteriológica de pozos de agua para consumo humano en el casco urbano de Chiquimula,

para ello se realizaron 2 muestreos en 20 puntos diferentes y se determinó que el porcentaje de ausencia fue de 40% y 45% respectivamente, un valor similar al porcentaje de ausencia encontrado en el presente estudio, especialmente en los tanques 2 y 4 que presentaron un 42.86% de ausencia (Rodas, 2010).

Otros estudios realizados para evaluar la calidad microbiológica en el área incluyen el elaborado por Diazz en el año 2016 en el cual se analizaron 20 pozos del departamento de Chiquimula. En este estudio se determinó el que 40% de estos tenía una concentración de coliformes totales igual o superior a 2400 unidades formadoras de colonia por cada 100 ml de agua; el 35% tenía una concentración de coliformes fecales igual o superior a 240 unidades formadoras de colonia por cada 100 ml de agua, y un 15% con una concentración de *E. coli* igual o superior a 1100 unidades formadoras de colonia por cada 100 ml de agua (Diaz, 2016).

Los resultados encontrados concuerdan con estudios anteriores. En el municipio de Camotán la municipalidad presentó un proyecto para implementar un sistema de agua potable para la Aldea Cajón del Río del municipio de Camotán, en base a los estudios con los que ellos contaban respecto a la calidad microbiológica del agua del municipio, principalmente un estudio realizado en 2009 por el laboratorio de análisis bacteriológico de agua, del Área de Salud de Chiquimula, donde se encontraron un porcentaje de presencia de coliformes totales de 44% en el área rural y un 27% en el área urbana (Municipalidad de Camotán Chiquimula, 2020).

En 2016, Monroy mostro que el agua proveniente de un pozo del municipio de Camotán presentaba una concentración de 240 unidades formadoras de Colonia por cada 100 ml de agua durante la época lluviosa y que aumentaba hasta 2400 unidades formadoras de Colonia por cada 100 ml durante la seca (Monroy, 2016).

En la tabla 8 se observa que el 55.36% de las muestras contienen contaminación fecal debido a los factores mencionados anteriormente. Desde el punto de vista microbiológico en el casco urbano el agua es apta para consumo humano. Las consecuencias de que el agua no sea apta para consumo humano son la prevalencia de enfermedades diarreicas además del agravamiento del cuadro de desnutrición en la población. Entre las enfermedades que pueden ser transmitidas por agua

contaminada se encuentran; Enfermedad Diarreica Aguda, Hepatitis Vírica A, Fiebre Tifoidea, Intoxicación por alimentos, Cólera, Disentería (diarrea con sangre), y Rotavirus” (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2018).

Las complicaciones de estos tipos de enfermedades pueden llegar a ser la deshidratación severa e incluso a la muerte principalmente para población con desnutrición. Por lo tanto, para prevenir estas enfermedades se necesita trabajar en estrategias para alcanzar ODS 2 “Hambre cero” y ODS 6 “Agua limpia y saneamiento” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020).

X. CONCLUSIONES

- La calidad microbiológica del agua de los tanques de abastecimiento en el municipio de Camotán, Chiquimula es deficiente debido a que los cuatro tanques evaluados presentaron coliformes totales y *Escherichia coli* en al menos un día muestreado.
- De las 56 muestras obtenidas de los cuatro tanques, 31 muestras (55.36%) presentó coliformes totales y 12 muestras (21.43%) *Escherichia coli*, por lo que no cumplen con los requerimientos microbiológicos establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013.
- Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de los tanques de abastecimiento fueron entregados a la Municipalidad de Camotán, aportando información que será útil para que se realicen las acciones correctivas necesarias y se implemente un plan de monitoreo del agua constante.

XI. RECOMENDACIONES

- Es importante que la Municipalidad de Camotán implemente un procedimiento de cloración constante siguiendo una metodología establecida tomando en cuenta la cantidad de agua presente en cada tanque, así mismo implementar un plan de monitoreo del cloro para corroborar que este se encuentre dentro de los límites establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013 y la mejora de infraestructura de los tanques.
- Realizar muestreos de agua potable durante días consecutivos, en los 4 tanques de abastecimiento e incluir puntos en distintas casas que se encuentren dentro a la red de distribución domiciliar de la municipalidad para evaluar si el agua que llega a las casas cumple con la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013. Además de la evaluación de todas las tuberías que conforman la red de distribución domiciliar de agua, desde la zona de captación del agua hasta su destino final, con el fin de establecer el estado físico de estas, y determinar las causas de contaminación microbiológica del agua.
- Implementar una alianza estratégica entre la Municipalidad de Camotán y el Centro de Salud del municipio para llevar a cabo la vigilancia epidemiológica, en donde se identifique la fuente de agua consumida en casos de enfermedades diarreicas. Además de realizar estrategias en conjunto para educar a la población sobre la cloración del agua, lavado de manos, lavado de alimentos y adecuada alimentación para la prevención de enfermedades diarreicas y las consecuencias en población con desnutrición.
- Realizar un estudio que incluya el análisis fisicoquímico del agua de los tanques de abastecimiento y evaluar si estos cumplen con todos los parámetros fisicoquímicos establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001, 2013.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acción Contra el Hambre. (2020). Guatemala: el país de América Latina con más desnutrición crónica. Recuperado de <https://www.accioncontraelhambre.org/es/guatemala-el-pais-de-america-latina-con-mas-desnutricion-cronica#:~:text=Guatemala%20tiene%20la%20tasa%20de,Chiquimula%2C%20alcanza%20el%2080%25>.
- Aldana, A. (2017). *Análisis de la situación epidemiológica de las enfermedades transmitidas por agua y alimentos, semana epidemiológica 1-13, 2017*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Argueta, S. (2011). *Guía de normas y estándares técnicos aplicados a agua y saneamiento*. Guatemala: Fondo para el Logro de los ODM.
- Arreola, E. y Marroquín, Y. (2018). Gráfico. ¿Quién y cómo se usa el agua en Guatemala? *Prensa Libre*. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/aguas-con-el-agua-grafico-quien-y-como-se-usa-el-agua-en-guatemala/>
- APHA, AWWA y WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. EE.UU.: Editorial Board.
- Awad, D., Murillo, L., y Gamarra, A. (2020). *El Cólera*. Colombia: Academia Nacional de Medicina de Colombia
- Comisión Guatemalteca de Normas – COGUANOR - (2013). *Agua para consumo humano (agua potable)*. COGUANOR NTG 29001. Guatemala: Ministerio de Economía.
- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo K'atun: Nuestra Guatemala 2032*. Guatemala: Conadur/ Segeplan
- Cooperación Alemana al Desarrollo en Perú. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Perú: Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo.

Córdoba, M., Del Coyo, V. y Basualdo, J. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3).

Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 1(29), 153. doi: 10.26439/ing.ind2011.n029.232

Decreto 90-97. (1997). *Código de Salud*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.

Díaz, L. (2016) *Evaluación de cuatro dosis de extracto botánico de orégano (Lippia graveolens kunth) para el control de bacterias coliformes totales, fecales y Escherichia coli, en agua superficial y subterránea, utilizada para consumo humano en la ciudad de Chiquimula, Guatemala 2016*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2020). *Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. Roma: FAO.

Fernández, D. (2008). *La prevención y control de la contaminación del recurso hídrico en Guatemala, necesidad de una reglamentación efectiva*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (s.f.). ¿Qué es la desnutrición? Recuperado de <https://www.unicef.es/noticia/que-es-la-desnutricion>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2018). La desigualdad agrava el hambre, la desnutrición y la obesidad en América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=1161:la-desigualdad-agrava-el-hambre-la-desnutricion-y-la-obesidad-en-america-latina-y-el-caribe&Itemid=441

Food Safety and Inspection Service. (2013) Parásitos y Enfermedades Transmitidas por Alimentos. Recuperado de: <https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/informational/en-espanol/hojasinformativas/enfermedades-por-alimentos/parasitos/parasitos-transmitidas/>

- García, M. (2009) *Momentos clave en la historia de la biología y geología*. España: Cenoposiciones. pp 11-13.
- Girón, D. (2011). *Evaluación y mapeo de la calidad de agua y nivel freático en pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula, 2009*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Gobierno de México. (2012). Glosario general de términos del desarrollo de la base metodológica para el inventario nacional de humedales de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165389/Glosario_de_T_rminos.pdf
- González, A., Martín, A., y Figueroa, R. (2006). Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 17*.
- 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.
- Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2012). República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2011. Guatemala. Recuperado de: <https://ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/02/03/bWC7f6t7aSbEI4wmuExoNR0oScpSHKyB.pdf>
- Lentini, E. (2018). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Merck. (2010). *Merck microbiology manual*. Alemania: Merk KGaA.
- Meza, A., y Rebolledo, F. (2002). Teniasis humana por *Taenia solium*. *Revista Mexicana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 49(2), pp. 92-99.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2017). *VI Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI) 2014-2015*. Guatemala.

- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2018). *Protocolo de vigilancia epidemiológica: enfermedades transmitidas por agua y alimentos*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- Monroy, F. (2016). *Determinación de la calidad del agua utilizada para la producción de tomate y chile en los valles productores del departamento de Chiquimula, 2012*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Municipalidad de Camotán, Chiquimula. (2020). *Construcción Sistema de Agua Potable Aldea Cajón del Río Camotán, Chiquimula*. Guatemala: Municipalidad de Camotán, Chiquimula.
- Olmedo, T. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Revista Española de Higiene y Sanidad Ambiental*, 8(1), pp. 335-342.
- Organización de Naciones Unidas (2020). Objetivo 2: Poner fin al hambre. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
- Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2015). Agua y saneamiento. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/noticias/19-8-2015-agua-saneamiento>
- Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de la Salud. –OMS-. (2020). Hepatitis A. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a>
- Paulino, C., Apella, M., Pizarro, R. y Blesa, M. (2010). La contaminación biológica del agua y la desinfección solar. *Ciencia e Investigación*, 60(4), 12-28.

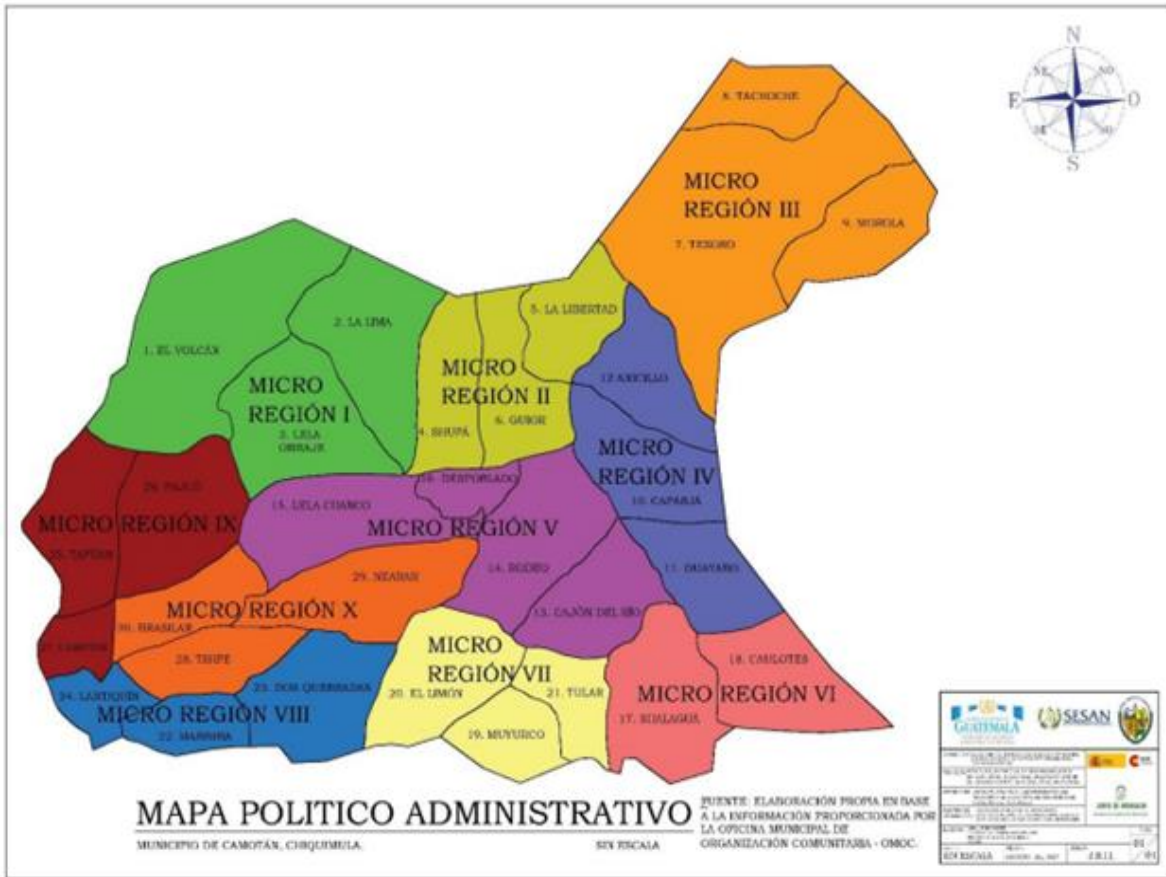
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Ramírez, S. L. (2001). Shigelosis (disentería bacilar). *Salud en tabasco*, 7(3). pp. 20-23.
- Ramos, R., Sepulveda, R. y Villalobos, F. (2002). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. México: Plaza y Valdés. pp. 36-40.
- Rock, C., y Rivera, B. (2014). *La calidad del agua, E. coli y su salud*. Arizona: College of Agriculture and Life Sciences, pp. 1-5.
- Rodas, A. (2010). Evaluación de la calidad fisicoquímica, bacteriológica y medición del caudal en agua de pozos para consumo humano, del casco urbano del municipio de Chiquimula. Recuperado de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2009-051.pdf>
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Antioquía, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía. pp. 376 – 377.
- Sandoval, J. (2012). *Calidad del Agua en época lluviosa de la laguna Tuticopote del municipio de Olopa, Chiquimula*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Santizo, C. (s.f.). En Guatemala el 49,8% de los niños sufre desnutrición crónica. Recuperado de <https://www.unicef.es/noticia/en-guatemala-el-498-de-los-ninos-sufre-desnutricion-cronica-maria-claudia-santizo-oficial>
- Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (2018). Diagnóstico situación de san municipio de Camotán, Julio, 2018. Recuperado de <http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/wp-content/uploads/DIAGNOSTICO-SITUACION-SAN-CAMOT%C3%81N.pdf>
- Sistema de Información de Inversión Pública. (s.f.). Construcción sistema de tratamiento aguas residuales Barrio la Barrera, Camotán, Chiquimula. Recuperado de [http://snip.segeplan.gob.gt/guest/SNPGPL\\$PRY_BOLETA.INDICE?index_proyecto=68738&index_ejercicio=2011](http://snip.segeplan.gob.gt/guest/SNPGPL$PRY_BOLETA.INDICE?index_proyecto=68738&index_ejercicio=2011)

Sistema de Información Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional. (2020). Desnutrición aguda. Recuperado de <http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/desnutricion-aguda/>

Sistema Nacional de Financiamiento para la Preinversión (2004). Informe final del municipio de Camotán: caracterización y diagnóstico, ordenamiento territorial. Recuperado de http://sintet.net/images/biblioteca_digital/caracterizacin_y_diagnostico_ordenamiento_territorial_camotan.pdf

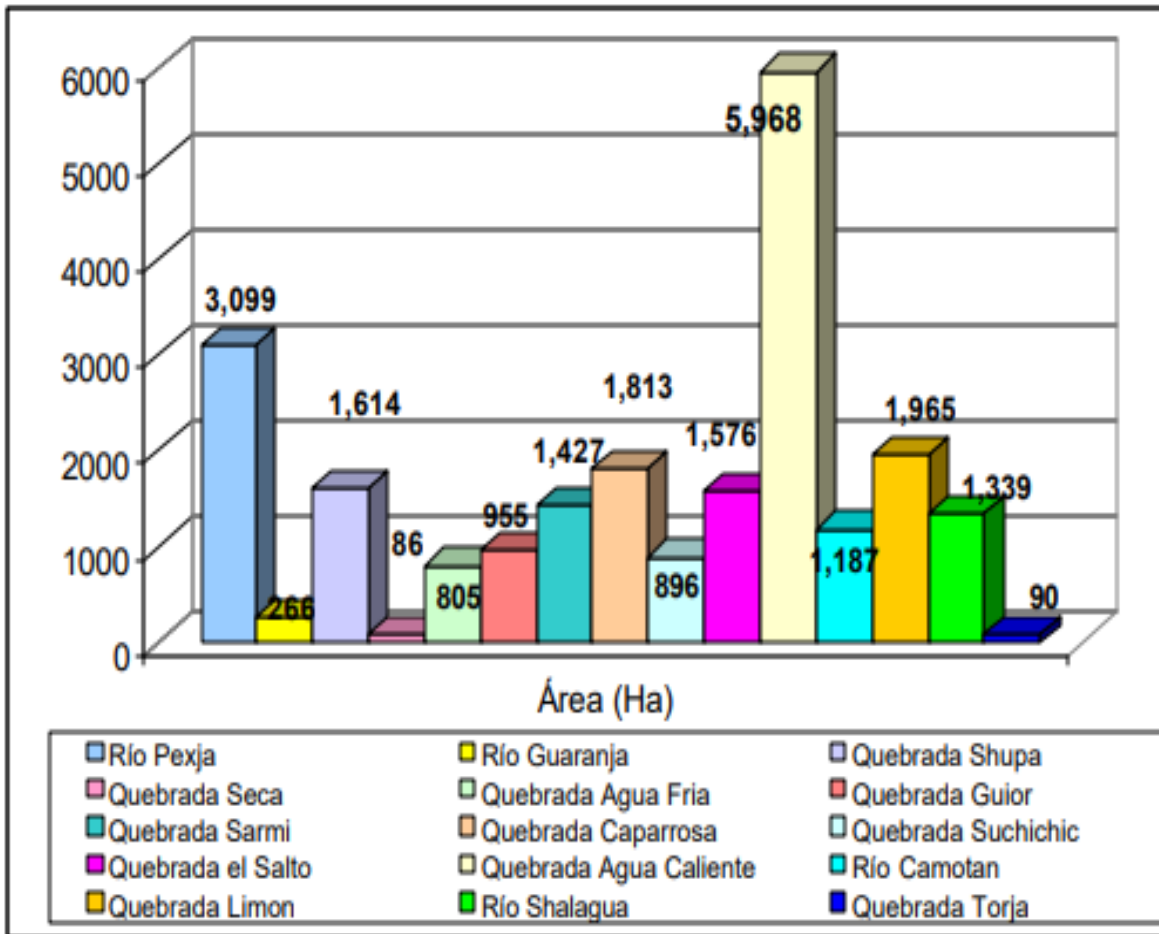
XIII. ANEXOS

Anexo 1. División política, administrativa y de las micro regiones del Municipio de Camotán.



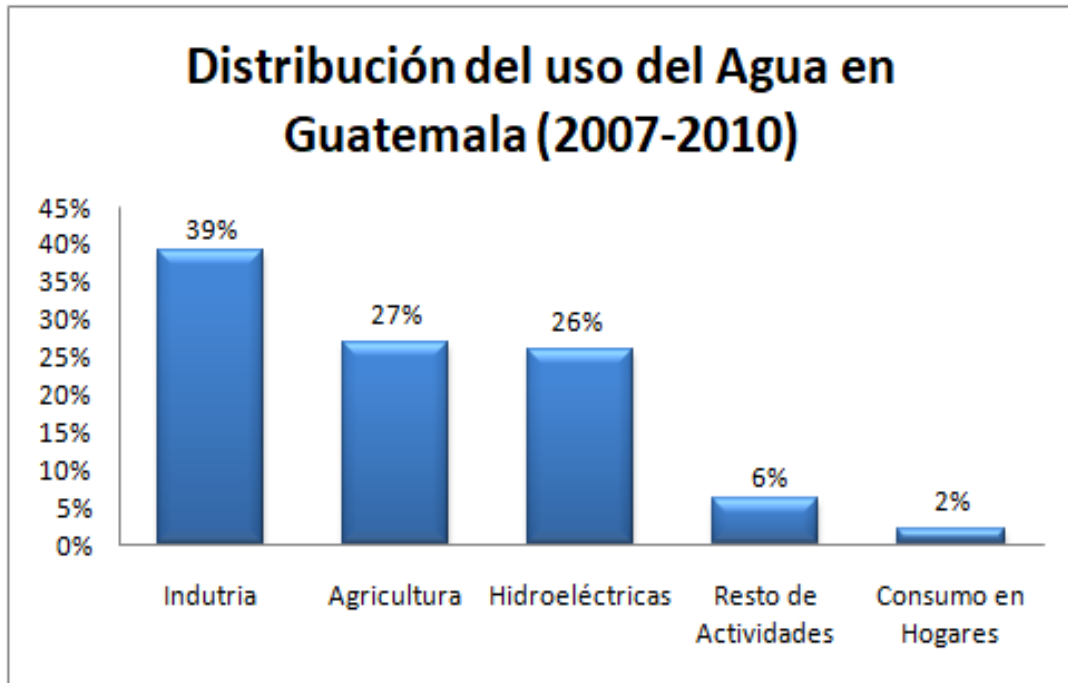
Fuente: Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (2018). Diagnóstico situación de san municipio de Camotán, Julio, 2018. Recuperado de <http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/wp-content/uploads/DIAGNOSTICO-SITUACION-SAN-CAMOT%C3%81N.pdf>

Anexo 2. Micro cuencas del municipio de Camotán, Chiquimula.



Fuente: Sistema Nacional de Financiamiento para la Preinversión (2004). Informe final del municipio de Camotán: caracterización y diagnóstico, ordenamiento territorial. Recuperado de http://sintet.net/images/biblioteca_digital/caracterizacin_y_diagnostico_ordenamiento_territorial_camotan.pdf

Anexo 3. Distribución del uso del agua en Guatemala estudio realizado entre 2007 al 2010.



Fuente: Arreola, E. y Marroquín, Y. (2018). Gráfico. ¿Quién y cómo se usa el agua en Guatemala? *Prensa Libre*. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/aguas-con-el-agua-grafico-quien-y-como-se-usa-el-agua-en-guatemala/>

Anexo 4. 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 deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

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

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). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. EE.UU.: Editorial Board.

Anexo 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Anexo 8. Muestras obtenidas luego de la adición de reactivo e incubación de 24 horas.



Fuente: Datos experimentales

De izquierda a derecha se observa la primera muestra positiva para coliformes totales por el cambio de color a azul, la siguiente muestra es negativa por el color amarillo y la última muestra es positiva para coliformes totales por el cambio de color a verde.

Anexo 9. Muestras observadas en luz UV 340 nm



Fuente: Datos experimentales

La muestra de la izquierda se observa con fluorescencia en luz UV 340 nm por lo que indica la presencia de *Escherichia coli*, mientras que la muestra de la derecha es negativa por no presentar dicha fluorescencia.

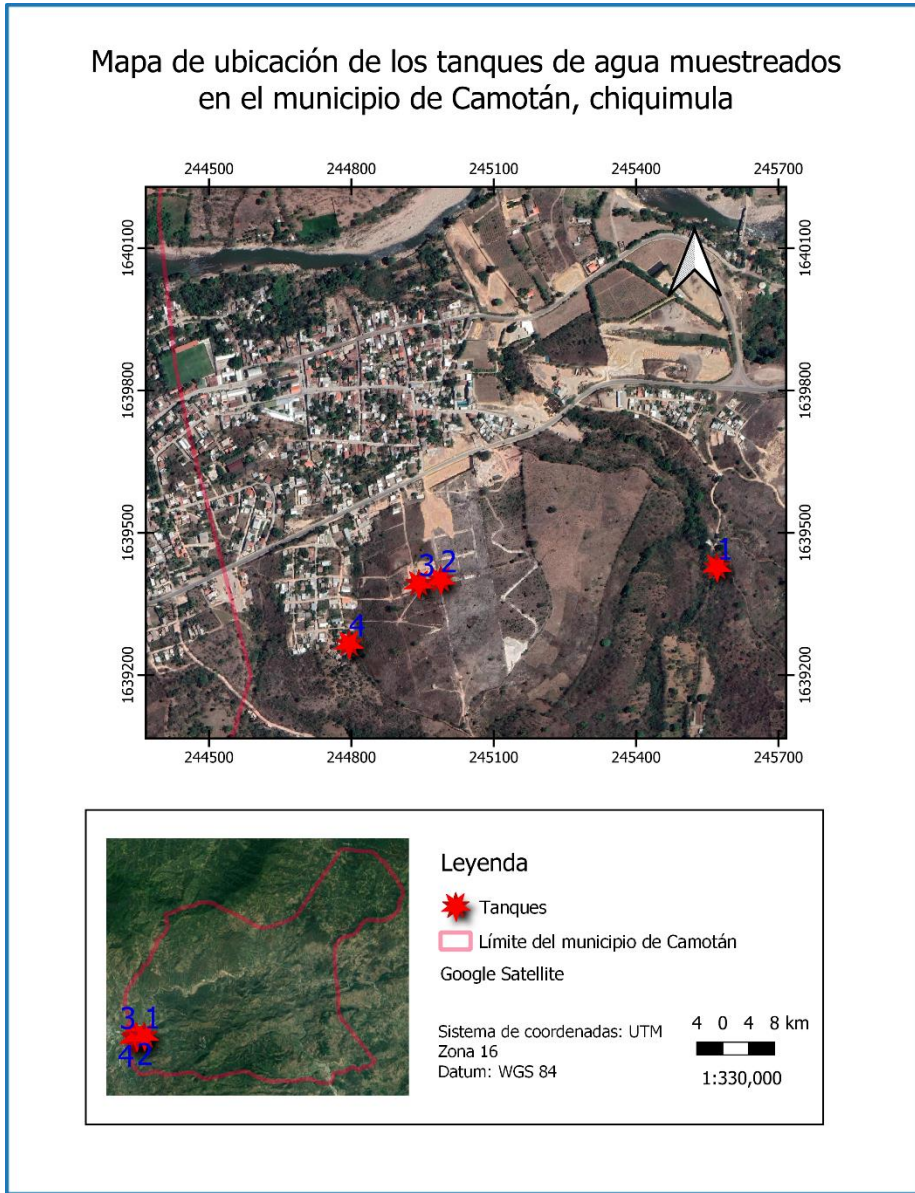
Anexo 10. Pruebas confirmatorias positivas para *Escherichia coli*.



Fuente: Datos experimentales

Muestras positivas para *Escherichia coli* por confirmación con reactivo de Kovacs por formación de anillo rojo, indicando la producción de indol.

Anexo 10. Mapa con la ubicación de los tanques muestreados en Camotán, Chiquimula.



Fuente: Google eart



Br. Nidia Gabriela Fajardo Arriola
Autora



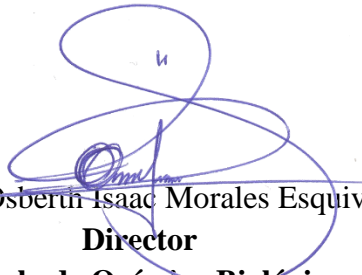
Br. Lau Shi Meng Marroquín
Autora



PhD. Karin Larissa Herrera
Asesora



M. Sc. Jorge Rodolfo Pérez Folgar
Revisor



M. Sc. Osberin Isaac Morales Esquivel
Director
Escuela de Química Biológica



M. A. Pablo Ernesto Oliva Soto
Decano
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia