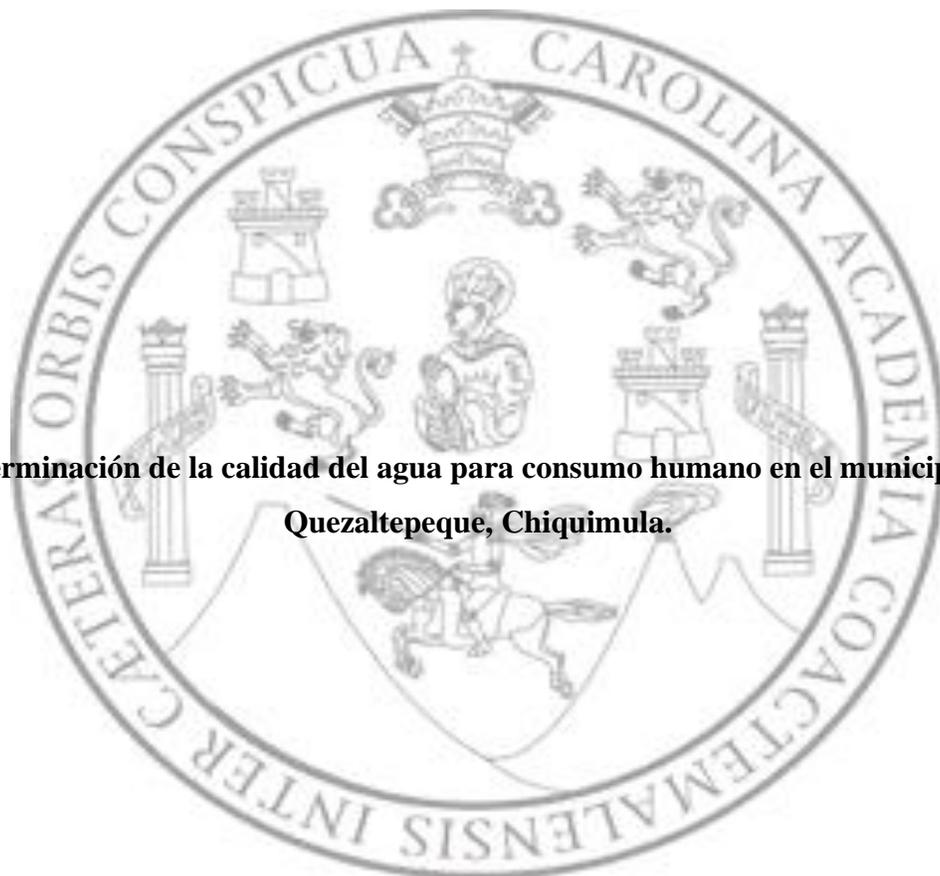


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICA Y FARMACIAS**

**Determinación de la calidad del agua para consumo humano en el municipio de
Quezaltepeque, Chiquimula.**



Sonia Estefany Dubón Lara

QUÍMICA BIÓLOGA

Guatemala, octubre de 2024

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICA Y FARMACIAS**

**Determinación de la calidad del agua para consumo humano en el municipio de
Quezaltepeque, Chiquimula.**



INFORME DE TESIS

**PRESENTADO POR
Sonia Estefany Dubón Lara**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE
QUÍMICA BIÓLOGA**

Guatemala, octubre de 2024

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

AGRADECIMIENTO

A Dios: Por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para completar esta tesis. Su guía y protección han sido esenciales en cada etapa de este trabajo.

A mis padres: Por ser mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor, sacrificio y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro. Gracias por siempre estar a mi lado y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

Al claustro de la Facultad de Química Biológica: Por haber contribuido significativamente en mi formación académica y profesional, brindándome las herramientas y conocimientos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

A la Dra. Karin Larissa Herrera Aguilar: Por su asesoría profesional y apoyo brindado. Su guía y valiosos comentarios han enriquecido este trabajo y han sido una fuente constante de inspiración.

A la Municipalidad de Quezaltepeque, Chiquimula: Por su apoyo en la realización del muestreo como parte experimental de la investigación. Su colaboración ha sido invaluable para llevar a cabo este estudio de manera efectiva.

A la Licda. Vilma de María López Berganza: Por la ayuda brindada en la realización de esta tesis. Su disposición y colaboración han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

A mi familia: Por su comprensión y motivación constante. Su presencia y palabras de aliento han sido una fuente de energía y confianza inquebrantables. Gracias por estar siempre ahí para mí y por ser una parte esencial de mi vida.

A mi novio: Por su amor, comprensión, motivación y apoyo. Gracias por animarme y por creer en mí siempre.

Este logro es el resultado de la contribución y el apoyo de cada uno de ustedes. Gracias a todos por hacer posible este sueño y por acompañarme en este importante capítulo de mi vida.

ÍNDICE

I. Resumen	1
II. Introducción	3
III. Antecedentes	5
A. Descripción de área de estudio	5
1. Localización y ubicación	5
2. Aspectos demográficos	5
3. Aspectos de salud de la población	5
4. Agua y saneamiento del municipio.....	6
B. Agua para consumo humano	6
C. Calidad del agua	6
D. Agua potable y sus características físicas	7
1. Color, olor y sabor del agua	8
E. Impurezas del agua	8
1. Turbidez.....	8
F. Características químicas	9
1. Conductividad eléctrica.....	9
2. Dureza	9
3. pH	10
4. Sólidos suspendidos totales	10
5. Nitratos	10
6. Nitritos	11
7. Sulfatos.....	12
8. Cloro residual libre	12
10. Magnesio	13
11. Hierro total	13
12. Manganeso total	14
G. Características microbiológicas	14
H. Indicadores de contaminación del agua para consumo humano	15

1. Agentes patógenos.....	15
2. Desechos orgánicos	16
3. Sedimentos y materiales suspendidos	17
4. Nutrientes vegetales inorgánicos	17
I. Norma COGUANOR 29001	17
J. Estudios realizados sobre la calidad del agua en Guatemala	18
IV. Justificación	19
V. Objetivos	20
A. Objetivo General	20
B. Objetivos Específicos.....	20
VI. Hipótesis	21
VII. Materiales y métodos	22
A. Localización.....	22
B. Variables.....	22
1. Variables dependientes.....	22
2. Variables independientes	22
C. Universo de Trabajo.....	22
D. Muestra.....	22
E. Tipo de estudio.....	23
F. Materiales y métodos.....	23
1. Equipos	23
3. Reactivos	24
4. Cepas y Controles	25
5. Medios de Cultivo	25
6. Metodología	25
6.5. Intervalo de tiempo entre la recolección de la muestra y el análisis	28
VIII. Discusión de resultados.....	38
IX. Conclusiones	45
X. Recomendaciones	46
XI. Referencias.....	47

XII. Anexos	52
--------------------------	----

I. RESUMEN

El agua desempeña un papel fundamental en cualquier comunidad, siendo indispensable para el sustento de todos los organismos que la habitan. Por consiguiente, es imperativo su consumo y cumplimiento de los parámetros definidos por la norma COGUANOR NGO 29001, a fin de garantizar la salud de los pobladores.

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas en su estado natural o después de ser alteradas por el ser humano. La evaluación de esta calidad se lleva a cabo mediante la comparación de las propiedades físicas y químicas de una muestra con los criterios o estándares establecidos para ello. Este proceso resulta de suma importancia para determinar su idoneidad en cuanto al uso y consumo humano (Gómez, 2016).

En el municipio de Quezaltepeque, Chiquimula, se realizó un estudio para determinar la calidad del agua evaluando los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos que dicta la norma COGUANOR NGO 29001. El estudio se llevó a cabo en época seca y época lluviosa, con 14 puntos de muestreo, que incluyeron el nacimiento de agua, tanques de captación 1 y 2, 7 barrios y 4 colonias del municipio de Quezaltepeque.

Se analizaron los parámetros microbiológicos en las muestras, incluyendo coliformes totales y fecales. Para su determinación se utilizó la técnica de Fermentación de Tubos Múltiples, que se considera como estándar para la determinación del grupo coliforme. Se utilizó caldo lauril triptosa en concentración doble y simple, y como fase complementaria se usó caldo lactosado bilis verde brillante (CBVB) y caldo *Escherichia coli*.

Para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos se midió una variedad de factores, como el pH, color, turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos (STD), cloro residual, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro, manganeso y cromo. Se utilizaron los métodos establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater para cada parámetro fisicoquímico.

En la época seca, las muestras analizadas en los parámetros fisicoquímicos cumplen con los valores aceptables que establece la norma COGUANOR. En la época lluviosa, el mayor porcentaje de los parámetros también cumple con la norma, excepto por el parámetro de turbidez que está fuera de los límites establecidos por la norma.

La turbidez refleja el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que puede ser indicio de contaminación y los elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. Así, la presencia de turbiedad en el agua representa un riesgo microbiológico para el ser humano (Martínez, 2020).

En los análisis microbiológicos de las muestras de agua en época seca y época lluviosa se determinó la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* únicamente en el nacimiento de agua. Cuando el agua llega a los tanques de captación se realiza el proceso de cloración y luego pasa a la red de distribución, donde ya se encuentra en condiciones aceptables y aptas para consumo humano.

En general, la calidad del agua en el área urbana de Quezaltepeque, Chiquimula, cumple con la norma COGUANOR NGO 29001 en la época seca, mientras que en época lluviosa se ve afectada por la turbidez, que supera el límite máximo permisible según la norma.

II. INTRODUCCIÓN

El agua, abarca más del 70 % de la extensión del planeta, manifestándose en océanos, lagos, ríos, así como en la atmósfera y el subsuelo. Además de ser la fuente primordial y el sustento vital de la biósfera, ejerce un papel crucial en la regulación climática global y en la modelación geodinámica de la Tierra, gracias a sus singulares propiedades esenciales para la vida (Cirelli, 2012).

La calidad del agua, un elemento crítico según la Organización Mundial de la Salud y otras entidades globales, incluye las características físicas, químicas y biológicas que definen su estado, ya sea natural o alterado por actividades humanas. Para determinar esta calidad, se suele contrastar las propiedades físicas y químicas de una muestra de agua con las normativas y estándares actuales (Gómez, 2016).

En distintas regiones de Guatemala, las fuentes primarias de agua provienen de entornos naturales como ríos, lagos, aguas subterráneas y manantiales. El municipio de Quezaltepeque, situado en el departamento de Chiquimula, se abastece principalmente de fuentes superficiales, destacando el nacimiento de agua. Estas aguas naturales requieren tratamiento para cumplir con los estándares de agua potable. El método de desinfección empleado por el departamento de agua de la municipalidad es la inyección de gas de cloro en los tanques de captación, destinado a eliminar microorganismos desde la fuente principal (Consejo Municipal de Desarrollo, 2010).

Posterior al tratamiento, las aguas deben cumplir con criterios específicos establecidos por entidades regionales para garantizar su idoneidad para el consumo humano. En Guatemala, la normativa que estipula estas directrices es la COGUANOR NGO 29001, que evalúa tanto la calidad microbiológica como la fisicoquímica del agua. Estos criterios son evaluados por los entes administradores municipales encargados del suministro de agua en el área urbana.

La calidad del agua destinada al consumo humano adquiere un carácter primordial para el desarrollo social (Duran & Torres, 2006), ejerciendo un impacto significativo en la salud de la población, especialmente en la de los niños. Asimismo, la disponibilidad de agua potable posibilita la prevención de enfermedades gastrointestinales, el desarrollo pleno de una vida saludable y el mejoramiento general de la calidad de vida.

En este estudio, se ha llevado a cabo un análisis de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua destinada al consumo humano en el casco urbano del municipio de Quezaltepeque, Chiquimula. Para este análisis, se han seleccionado puntos de muestreo estratégicos, incluyendo el nacimiento de agua utilizado como fuente de abastecimiento, dos tanques de captación y puntos críticos de la red de distribución que abarca 7 barrios (El Calvario, San Sebastián, Santa Bárbara, El Puente, El Centro, La Concordia y La Ceiba) y 4 colonias (Los Pinos, Las Palmeras, Las Margaritas y Santa Filomena). Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos se han llevado a cabo conforme a las especificaciones establecidas en la normativa COGUANOR NGO 29001: Agua para Consumo Humano del año 2013.

Los resultados obtenidos a partir de esta investigación permiten conocer con precisión la calidad del agua que abastece a cada barrio y colonia, brindando recomendaciones fundamentadas para mejorar los procedimientos de captación y tratamiento del agua antes de su distribución en la red.

III. ANTECEDENTES

A. Descripción de área de estudio

1. Localización y ubicación

El municipio de Quezaltepeque se encuentra ubicado en el departamento de Chiquimula y limita al norte con los municipios de San Jacinto y San Juan Ermita, al este con los municipios de Olopa y Esquipulas, al sur con el municipio de Concepción Las Minas, y al oeste con el municipio de Ipala. Geográficamente, se encuentra asentado en una depresión o valle rodeado por cerros, colinas y montañas. Su ubicación geoespacial corresponde a las coordenadas siguientes: 14°38'04" de latitud norte y 89°26'36" de longitud oeste, con una altitud de 649.68 metros sobre el nivel del mar. La extensión territorial del municipio abarca un área de 236 km² (Consejo Municipal de Desarrollo, 2010).

2. Aspectos demográficos

Según los resultados del XII Censo de Población y VII de Habitación del Instituto Nacional de Estadística, el municipio cuenta con una población total de 28,075 habitantes, de los cuales 13,476 hombres (48%) y 14,599 mujeres (52%); el 14.79% es población urbana y el 85.21% rural (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

3. Aspectos de salud de la población

El acceso insuficiente a servicios de agua, saneamiento e higiene conlleva graves consecuencias para la salud y bienestar de una población. Las enfermedades originadas por la utilización de agua contaminada están estrechamente ligadas a la presencia de microorganismos y sustancias químicas perjudiciales en el suministro de agua potable. Estos riesgos pueden desencadenar una amplia gama de problemas de salud, incluyendo

malnutrición, enfermedades desatendidas, diarrea y envenenamientos, entre otros (OPS/OMS, 2017).

De manera alarmante, anualmente se registran alrededor de 7,600 fallecimientos de niños menores de 5 años debido a enfermedades diarreicas en la Región. Este preocupante indicador revela una situación crítica en varios países, siendo los más afectados Haití con un índice de mortalidad por diarrea en niños menores de 5 años del 23%, seguido por Guatemala con el 10%, Bolivia con el 7% y Venezuela con el 5%. Estas cifras subrayan la urgente necesidad de mejorar la accesibilidad y calidad de los servicios de agua, saneamiento e higiene para preservar la salud y prevenir la propagación de enfermedades en estas comunidades (OPS/OMS, 2017).

4. Agua y saneamiento del municipio

Según la información del Censo 2018, el abastecimiento de agua domiciliar se realiza por medio de chorros de conexión municipal. La disposición de excretas es con letrinas e inodoros en la totalidad de viviendas y la disposición de desechos sólidos se reporta adecuada según los criterios de evaluación (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

B. Agua para consumo humano

El agua de consumo puede considerarse de buena calidad cuando es salubre y limpia; es decir, cuando no contiene microorganismos patógenos ni contaminantes a niveles capaces de afectar adversamente la salud de los consumidores (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, 2020).

C. Calidad del agua

Describe las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua depende principalmente del uso que se le va a dar. En el caso del agua potable, se establecen

normas para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en niveles de toxicidad científicamente aceptables (Science for a changing world, 2017).

La OPS/OMS la define como el conjunto de actividades ejercidas en forma continua por el abastecedor con el objetivo de verificar que la calidad del agua suministrada a la población cumpla con la legislación, por esto es necesario un control de la calidad a través de monitoreo continuo, en la cual se verifica un análisis físico químicos y microbiológicos, se ejecutan inspecciones sanitarias a los sistemas de abastecimiento iniciando desde la fuente hasta el usuario además de realizar buenas prácticas en el control operacional (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

D. Agua potable y sus características físicas

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de potabilización, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad establecidas por las autoridades locales e internacionales (Organización Mundial de la Salud, 2014). Respecto a las características físicas son todas aquellas características sensoriales, es decir que pueden ser detectadas por los sentidos, que influyen en la aceptación o el rechazo del agua por el consumidor.

Para la medición de la aceptabilidad se utilizan terminologías como el Límite Máximo Aceptable (LMA) que corresponde a un parámetro para medir valores de características no detectables por el consumidor, o si las detecta son consideradas despreciables; y el Límite Máximo Permisible (LMP) que se refiere a valores máximos de parámetros que están por arriba de los cuales el agua es considerada como no potable (COGUANOR, 2013).

1. Color, olor y sabor del agua

Son propiedades organolépticas. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio el cual se verificará con la toma de muestras y realización de pruebas de laboratorio. Tiene gran importancia en aguas potabilizables, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura” (Piedrasanta, 1989).

E. Impurezas del agua

El agua durante su condensación y precipitación, en forma de lluvia o nieve absorbe de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de materia orgánica e inorgánica. Al circular por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas, compuestos como sulfatos, cloruros, bicarbonato de sodio y potasio, óxidos de calcio y magnesio (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

Las aguas superficiales suelen contener residuos domésticos e industriales y las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos como nitrógeno y cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2018).

1. Turbidez

La turbidez es la característica física del agua que provoca un fenómeno de difracción en la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Los depósitos de agua turbios son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las redes de

distribución. Además, interfiere en la mayoría de los procesos que se pueda destinar el agua (Rigola, 1990).

F. Características químicas

Las características químicas del agua están determinadas por la cantidad de material mineral y orgánico presente, que definen su calidad.

1. Conductividad eléctrica

En general, el flujo de electricidad a través de un conductor es debido a un transporte de electrones. Según la forma de llevarse a cabo este transporte, los conductores eléctricos pueden ser de dos tipos: conductores metálicos o electrónicos y conductores iónicos o electrolíticos (Julk, 2018).

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica, y dependerá, además del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. En disoluciones acuosas, y puesto que su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la temperatura (Julk, 2018).

2. Dureza

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad. La unidad de medida de la dureza que se utiliza más habitualmente son los grados hidrométricos franceses (° H F), y el cálculo de este parámetro responde a la siguiente fórmula: $(\text{mg/l Ca} \times 2.5 + \text{mg/l Mg} \times 4.2) / 10$ (Soto, 2017).

3. pH

El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14. Un incremento de una unidad en la escala logarítmica equivale a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno. Con una disminución del pH, el agua se hace más ácida y con un aumento de pH el agua se hace más básica (Duran & Torres, 2006).

4. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se define como la porción de sólidos retenidos, lo cual se obtiene por medio de una muestra que se pasa por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante (American Public Health Association, 2017).

El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos, si el material suspendido taponar el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales. Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida, en un intervalo de 4 a 20,000 mg/L (Rodier Jean, 2011).

5. Nitratos

Los nitratos son constituyentes naturales de alimentos de origen vegetal, pudiendo encontrarse en ellos en concentraciones muy elevadas. Las espinacas o el apio, por ejemplo, pueden contener de forma natural más de 2 g/Kg de nitrato (10 veces más que la

concentración máxima autorizada como aditivo). Los nitratos también pueden estar presentes en otras verduras, como la remolacha o acelga, o en el agua (Nas & Berkay, 2006).

En las aguas la existencia natural de compuestos nitrogenados se debe a la integración del nitrógeno atmosférico. El cual es asimilado por los seres vivos (bacterias y vegetales) y pasa a formar parte de los compuestos orgánicos nitrogenados, que son descompuestos y transformados en sales solubles. La polución de las aguas sería una causa artificial de su presencia. En aguas de lagos y otras corrientes superficiales, la concentración de nitratos es importante para su entrofización, pero si esta rebasa los, aproximadamente, 45 mgNO₃/l, se produce un crecimiento excesivo de algas (OMS, 1993).

6. Nitritos

Los nitritos suelen originarse por desdoblamiento de las sustancias orgánicas (aminoácidos, polipéptidos y proteínas) animales o vegetales, que al degradarse lentamente se mineralizan, pudiendo pasar a combinaciones amoniacales u oxidarse incompletamente para dar nitritos. También pueden originarse por la reducción de los nitratos, esto ocurre frecuentemente en aguas subterráneas (Nezhad, y otros, 2017).

Los nitritos suelen estar en bajas concentraciones ya que el agua se encuentra en período de autodepuración oxidando la materia orgánica, origen de los nitritos, con lo que éstos pasan en general a nitratos. Todo lo cual convierte al agua que los contiene en sospechosa de una polución orgánica, con la consiguiente posible presencia de microorganismos patógenos.

Los nitritos son tóxicos (2 g pueden causar la muerte una persona) ya que son capaces de unirse a la hemoglobina de la sangre, de una forma semejante a como lo hace a la mioglobina de la carne, formándose metahemoglobina, un compuesto que ya no es capaz de transportar el oxígeno. Esta intoxicación puede ser mortal, y de hecho se conocen varios casos fatales por ingestión de embutidos con cantidades muy altas de nitritos, producidos

localmente por un mal mezclado del aditivo con los otros ingredientes durante su fabricación (Jianmin, y otros, 2016).

7. Sulfatos

El sulfato es una sal de ácido sulfúrico. Hace referencia tanto al anión SO_4^{2-} como a cualquier compuesto que contenga este ion; Los sulfatos pueden llegar al agua cuando esta atraviesa terrenos ricos en yesos o por la contaminación con residuos industriales, el contenido de sulfatos no suele ser un problema de potabilidad a las aguas de consumo, en ocasiones, contenidos superiores a 300 mg/l pueden ocasionar trastornos gastrointestinales en los niños y acción laxante en adultos (Graniel, Pacheco, & Coronado, 2009).

8. Cloro residual libre

El cloro libre residual puede presentarse en forma de Cl_2 , HClO y/o ClO^- , dependiendo del pH de trabajo y por lo tanto corresponde a la suma de estas tres moléculas (Academia Nacional de Ciencias, 1989).

Es muy importante asegurar que exista cloro libre en todos los puntos de la red de distribución de agua: en adición a la acción bactericida del cloro, el hecho de encontrar cloro en el agua demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, por tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento. Por el contrario, la ausencia anormal del desinfectante en la red debe hacer que los responsables apliquen de inmediato medidas de emergencia (Academia Nacional de Ciencias, 1989).

9. Cloruros

Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo).

El ión cloruro (Cl⁻), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. El contenido de cloruros de las aguas naturales son variables y depende principalmente de la naturaleza de los terrenos, en cualquier caso, esta cantidad siempre es menor que la que se encuentra en las aguas residuales, ya que el cloruro de sodio o sal de mesa (NaCl) es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo (CNIB, 2020).

10. Magnesio

El ion magnesio es esencial para todas las células vivas, está presente en el agua de mar en concentraciones de 1,300 ppm, después del sodio, el magnesio es el catión que se encuentra en mayores proporciones en el océano. Los ríos contienen aproximadamente 4 ppm de magnesio, las algas marinas contienen 6,000-20,000 ppm, y las ostras alrededor de 1,200 ppm, una adecuada ingesta de magnesio condiciona una buena salud ósea y previene la resistencia a la insulina y la arteriosclerosis (Maraver, Vitoria, Ferreira-Pêgo, Armijo, & Salas-Salvadó, 2015).

11. Hierro total

El hierro total se define como una condición evidenciada en fuentes de agua en la cual la concentración ferrosa es alta, sucede por la disolución de rocas ferrosas, tiñendo el líquido de color naranja derivado del destiño de rocas lavadas y genera un sabor desagradable, en los sistemas de agua provoca problemas como bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación. (Sigler & Bauder, 2012).

El hierro es un elemento común en la superficie de la tierra. A medida que el agua se filtra por el suelo y las piedras pueden disolver este mineral y acarrearlo hacia el agua subterránea, con hierro disuelto es traída a la superficie en un pozo, el hierro reacciona con el oxígeno y es convertido en visibles partículas de herrumbre rojo. (Sigler & Bauder, 2012).

Altas concentraciones de hierro en el agua pueden causar problemas con sedimentos en tuberías, sabor metálico, y problemas estéticos por manchas rojas en accesorios y ropa, la Agencia de Protección Ambiental de la Unión Europea (USEPA) ha establecido el estándar por hierro a 0.3 mg/L. Éste estándar sólo aplica en suministro de aguas públicas, pero es una guía útil para dueños de pozos de agua privados (Sigler & Bauder, 2012).

12. Manganeso total

El manganeso total se define como una situación de la dureza del agua, debido a la simple disolución cuando tiene su origen en los yesos o los silicatos, o bien por ataque de las calizas o dolomías, por la acción del anhídrido carbónico; por tanto, el contenido en magnesio de un agua depende casi exclusivamente de los terrenos que atraviesa, pudiendo variar desde muy pocos mg/l a varios cientos de mg/l. (CNIB, 2020).

Elemento químico metálico quebradizo de color blanco grisáceo, parecido al hierro, su concentración en el agua por lo general es inferior a la del hierro. En promedio la concentración encontrada en aguas de pozo es de aproximadamente 0.06 mg/l. Aunque es posible encontrar valores mayores a 125 mg/l (CNIB, 2020). dependiendo de las condiciones del agua, por ejemplo, si el agua contiene bacterias activas o condiciones reductoras, su presencia suele estar asociada al hierro.

Las concentraciones en el agua dulce varían de entre 0.0001 y 0.2 mg/l, aunque se han reportado concentraciones de hasta 10 mg/l en aguas subterráneas ácidas y niveles aún más altos en aguas superficiales, usualmente asociados a contaminación industrial (Pérez-Gattorna, 2019).

G. Características microbiológicas

En el agua se encuentran diversidad de microorganismos, las normas establecen criterios para buscar principalmente contaminación de origen fecal y no microorganismos específicos,

de esta forma se busca evitar la presencia de patógenos como bacterias, protozoos o virus (Obon, 2003).

La presencia de microorganismos de transmisión hídrica no está limitada a una región específica en el mundo, a su nivel de desarrollo, a los problemas de desplazamiento o a la respuesta ineficiente de los servicios de salud. Asimismo, la inversión de los Estados en la garantía de la potabilización del agua para toda la población, la falta de control de brotes y la falta de intervención de los sistemas de salud pública, favorecen la propagación, incidencia, morbilidad y mortalidad asociada a enfermedades relacionadas con el agua de consumo (Ríos-Tobón, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

H. Indicadores de contaminación del agua para consumo humano

1. Agentes patógenos

Los microorganismos patógenos comunes en el agua se pueden dividir en tres categorías: bacterias, virus y protozoos parásitos. Las bacterias y virus se pueden encontrar tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales, mientras los protozoos son comunes de las aguas superficiales (Duran & Torres, 2006).

Las bacterias son microorganismos unicelulares, pueden ser de formas variadas tales como bacilos, cocos, de formas helicoidales o en espiral. Pueden existir como organismos individuales, formando cadenas, grupos o pares. Además, son las formas de vida más abundantes en la tierra y miden entre 1 y 14 μm de longitud y 0,2 a 12 μm de ancho. Consecuentemente solo se pueden ver mediante microscopio. Las bacterias se reproducen mediante la replicación del ADN, y división en dos células independientes, la mayoría de las veces por fisión binaria. En cuanto a patógenos del agua se ha demostrado que tres microorganismos: *Legionella*, *Giardia* y *Cryptosporidium* son los principales causantes de enfermedades (Ríos-Tobón, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

Los virus son entes que pueden causar infecciones y que solo se reproducen en células huésped. Se caracterizan por presentar una capa protectora, su forma puede ser helicoidal, icosaédrica o de formas complejas, sus tamaños van de los 0.02 a los 0.009 μm . Al tener un tamaño menor que las bacterias, pueden pasar filtros que permiten la retención de bacterias. Se conoce una variedad de virus entéricos que son la causa principal de brotes epidémicos transmitidos por el agua en humanos, incluyendo Poliovirus, virus Coxsackie A y B, Echovirus, Rotavirus, Adenovirus y el virus de la hepatitis A (Ríos-Tobón, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

Los protozoos parásitos son organismos unicelulares que se caracterizan por presentar un metabolismo complejo. Se alimentan a base de nutrientes sólidos, algas y bacterias presentes en organismos multicelulares, como los humanos y animales. Se encuentran frecuentemente en forma de quistes o huevos. Por ejemplo, los huevos de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* son comunes en aguas afectadas por contaminación fecal. En forma de quistes los patógenos son resistentes a la desinfección por cloro. Estos microorganismos se eliminan mediante la filtración y por aplicación de dióxido de cloro (Ríos-Tobón, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

2. Desechos orgánicos

Son desechos que provienen de los residuos de animales, humanos y plantas. Dichos elementos pueden descomponerse con facilidad e incluso pudieran ser empleados en la elaboración de algún tipo de aditivo para el suelo. Por lo general este tipo de materiales de desecho se originan de las diferentes actividades que realizan los seres humanos diariamente, ya que en casi cualquier acción que las personas lleven a cabo se genera algún desecho orgánico. Los animales, aunque en menor medida aportan también a la producción de este tipo de desechos (Rodier Jean, 2011).

3. Sedimentos y materiales suspendidos

Los sedimentos son arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua. Pueden provenir de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales. El viento, el agua y el hielo pueden transportar estas partículas hasta los ríos, lagos y arroyos (FAO, 2000).

4. Nutrientes vegetales inorgánicos

Nitratos y fosfatos son buenos para el agua que se utiliza para las plantas. Cuando estos están en mayor cantidad produce en las aguas un mayor incremento de algas y otras plantas. Luego cuando estas mueren, en su descomposición por bacterias, hace que el agua se quede sin oxígeno, produciendo agua maloliente e inutilizable, estos compuestos se encuentran diseminados en el ambiente y se han detectado en fuentes de abastecimiento de agua, aguas subterráneas e incluso en agua potable (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

I. Norma COGUANOR 29001

Para la determinación de la calidad del agua para consumo humano, en Guatemala se utiliza la norma COGUANOR 29001 del año 2013. Esta tiene como objetivo establecer los parámetros que definen la calidad del agua apta para consumo humano. Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico proveniente de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos (Comisión Guatemalteca de Normas [COGUANOR], 2013)

El programa de análisis mínimo planteado en la norma COGUANOR 29001 incluye: análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza

total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro y manganeso totales (COGUANOR, 2013)

J. Estudios realizados sobre la calidad del agua en Guatemala

Se han realizado varios estudios sobre control de la calidad del agua en las Facultades de Ciencias Químicas y Farmacia e Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, pero no existe ningún estudio de la calidad del agua en el municipio de Quezaltepeque, departamento de Chiquimula.

En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se han realizado estudios sobre la calidad del agua potable en distintas regiones del país. Por ejemplo, en Palín, Escuintla, se determinó que la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua para consumo humano de este municipio cumple con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001. Sin embargo, no cumplió con los parámetros microbiológicos de la norma, por tal modo fue reportada como no apta para consumo humano, ya que existía el riesgo la salud de los habitantes de ese municipio (Zanotti, 2005).

Otro estudio realizado sobre la calidad del agua en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso con análisis microbiológicos y fisicoquímicos concluyó que el agua suministrada por la municipalidad a la población no es apta para consumo humano, ya que no cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por la norma COGUANOR NGO 29001 (Pensamiento, 2011).

IV. JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud y otros organismos internacionales, se puede resumir como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. La evaluación de la calidad del agua, en líneas generales, implica la comparación de características físicas y químicas de muestras representativas con respecto a estándares nacionales o internacionales establecidos (Gómez, 2016).

En Guatemala, es responsabilidad de las entidades de salud el velar por la calidad del agua para consumo humano, a través de monitoreos periódicos de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Organización Mundial de la Salud, 2014). Sin embargo, en la actualidad se evidencia una escasez de datos formales, especialmente en estudios que verifiquen el cumplimiento de los parámetros aceptables. Por lo anteriormente expuesto, resulta crucial llevar a cabo un monitoreo constante del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la norma COGUANOR 29001:2013 a nivel nacional, con el fin de asegurar la calidad del agua destinada al consumo humano.

En el marco de este estudio, se utilizó la mencionada normativa con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos. Dicho cumplimiento resulta fundamental para salvaguardar la salud de la población y prevenir enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada. Con tal propósito, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de la calidad del agua en diversos barrios y colonias del municipio de Quezaltepeque, entre ellos: El Calvario, San Sebastián, Santa Bárbara, El Puente, El Centro, La Concordia, La Ceiba, Los Pinos, Las Palmeras, Las Margaritas y Santa Filomena. Este análisis permitió evaluar tanto los aspectos fisicoquímicos como microbiológicos del agua consumida por la población, así como identificar y proponer las medidas correctivas necesarias para mitigar posibles riesgos para la salud.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar la calidad del agua para consumo humano en el municipio de Quezaltepeque, Chiquimula, a través de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de conformidad con la norma COGUANOR NGO 29001:2013. Agua para Consumo Humano (Agua Potable). Especificaciones.

B. Objetivos Específicos

1. Determinar la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en el agua para consumo humano que se suministra al área urbana en el nacimiento de agua y red de distribución del municipio Quezaltepeque, Chiquimula, mediante análisis microbiológicos establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001:2013.
2. Determinar la calidad fisicoquímica del agua para consumo que se suministra al área urbana de Quezaltepeque, Chiquimula y si cumple mediante la evaluación de los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001:2013.
3. Establecer los puntos contaminados o posibles fuentes de contaminación en la red de distribución del agua y si el agua para consumo humano en el área urbana de Quezaltepeque, Chiquimula cumple con la norma COGUANOR NGO 29001:2013.

VI. HIPÓTESIS

Esta investigación es un estudio descriptivo, por lo que no se plantea hipótesis

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Localización

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Quezaltepeque que se encuentra ubicado en el departamento de Chiquimula, en Guatemala.

B. Variables

1. Variables dependientes

Concentración de sustancias químicas, calidad microbiológica, características físicas, niveles de cloración, cumplimiento de estándares.

2. Variables independientes

Sitios de muestreo.

C. Universo de Trabajo

Nacimiento de agua, tanques de captación y la red de distribución de agua que pone a disposición la municipalidad de Quezaltepeque a la zona urbana.

D. Muestra

Se tomaron un total de 28 muestras por duplicado en los siguientes puntos de muestreo: el nacimiento de agua cercano a la montaña "Laguis" en la aldea Azacualpa del municipio de Quezaltepeque, con las coordenadas geográficas $14^{\circ}39'25''$ de latitud norte y $89^{\circ}25'43''$ de longitud oeste. Asimismo, se obtuvieron muestras de los dos tanques de captación y la red de distribución que abarcan 7 barrios (El Calvario, San Sebastián, Santa Bárbara, El Puente,

El Centro, La Concordia, La Ceiba) y 4 colonias (Los Pinos, Las Palmeras, Las Margaritas, Santa Filomena).

Cada muestra tuvo un volumen de 1000 ml para análisis fisicoquímicos y 100 ml para análisis microbiológicos. Estas muestras fueron recolectadas de la siguiente manera: se tomaron 14 muestras por duplicado (28 en total) durante la época seca y 14 muestras por duplicado (28 en total) durante la época lluviosa.

E. Tipo de estudio

El presente estudio se enmarca en un enfoque descriptivo, cuyo propósito principal es describir y caracterizar la calidad del agua en diferentes puntos de muestreo. A través de la recolección de muestras durante la época seca y lluviosa, se busca obtener información detallada sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua en cada punto de estudio.

F. Materiales y métodos

1. Equipos

- a)** Incubadora a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- b)** Baño María a $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- c)** Centrífuga
- d)** Autoclave
- e)** Balanza
- f)** Cabina de Bioseguridad clase II
- g)** Potenciómetro Multiparámetro HQ40
- h)** Conductímetro Multiparámetro HQ40
- i)** Espectrofotómetro
- j)** Refrigerador

- k) Termorreacto
- l) Turbidímetro

2. Materiales

- a) Cápsula de porcelana
- b) Frascos de plástico
- c) Frascos de vidrio con tapón de rosca
- d) Gradillas plásticas
- e) Hielera
- f) Mechero Bunsen
- g) Pipetas volumétricas de 1 mL
- h) Pipeteador
- i) Bureta
- j) Tubos de Ensayo con capacidad para 20 mL.
- k) Tubos de ensayo con capacidad para 30 mL
- l) Campanillas de Durham
- m) Tapones plásticos para tubos sin o con rosca con tapón o gasa.

3. Reactivos

- a) Reactivo de Kovacs
- b) Solución de Fenofaleína
- c) Solución de Ácido sulfúrico 0.2 N
- d) Solución de Dicromato de potasio 1N
- e) Solución de EDTA 0.01 M
- f) Solución de Hidróxido de sodio 1N
- g) Solución de Negro ericromo-T
- h) Solución de Nitrato de plata 0.0141 N
- i) Solución de Tiosulfato de Sodio

4. Cepas y Controles

- a) Cepa *E. coli* ATCC 25922

5. Medios de Cultivo

- a) Caldo Lauril Triptosa
- b) Caldo Bilis Verde Brillante
- c) Caldo *Escherichia coli* (EC)
- d) Caldo *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG)
- e) Agar MacConkey
- f) Agar LES Endo
- g) Caldo MR-VP
- h) Agar Citrato

6. Metodología

a) Sitios de muestreo

Se seleccionaron un total de 14 puntos de muestreo, los cuales incluyen el nacimiento de agua, los tanques de distribución 1 y 2, así como los puntos de consumo representados por los grifos de viviendas ubicados en cada uno de los 7 barrios y 4 colonias del municipio de Quezaltepeque, Chiquimula. Estos puntos se detallan en la tabla 1.

Tabla 1*Sitios de muestreo*

Puntos de muestreo	Sitio de muestra
Nacimiento de agua	Ubicado cerca del cerro Laguis
Tanques de distribución	Tanque de captación 1
	Tanque de captación 2
	El Calvario
	San Sebastián
	Santa Bárbara
	El Puente
	El Centro
Redes de distribución en cada uno de los 7 barrios y 4 colonias del municipio (grifos o chorro)	La Concordia
	La Ceiba
	Los Pinos
	Las Palmeras
	Las Margaritas
	Santa Filomena

b) Muestreo

Para este estudio, se llevaron a cabo dos rondas de muestreo, una durante la época seca y otra durante la época lluviosa. En cada sitio de muestreo, se tomaron dos muestras utilizando frascos de boca ancha estériles, y se registró la georreferenciación de cada muestra.

En el caso de las muestras tomadas de la red de distribución, se seleccionaron grifos específicos según se indica en la tabla 1. Se tomó nota del estado de los grifos y se procedió a limpiar el orificio de salida utilizando una gasa estéril impregnada en una solución de alcohol etílico al 70%. En aquellos casos en los que el material y las condiciones del punto de salida lo permitían, se aplicó calor directo mediante una llama y luego se realizó una

limpieza con alcohol al 70%. Posteriormente, se dejó correr el agua durante aproximadamente tres minutos para asegurar que se renovara el agua contenida en las tuberías (se adjuntan fotografías en el Anexo 4, imágenes 9 a 12). Antes de la toma de la muestra de agua, se midió la temperatura utilizando un termómetro (COGUANOR, 2013).

En el caso de las muestras del cuerpo de agua superficial y del tanque de captación, se siguieron los siguientes pasos: en primer lugar, se procedió a realizar un lavado de manos y antebrazos utilizando agua y jabón desinfectante. Para tomar las muestras, se utilizaron frascos estériles. Estos frascos se sumergieron en el agua con el orificio hacia abajo, alcanzando una profundidad de 15 a 30 cm (se adjuntan fotografías en el Anexo 4, imágenes 5 a 8). A continuación, se abrió ligeramente el frasco y se giró suavemente, permitiendo así que se llenara con agua (se evitó tomar muestras de la capa superficial o del fondo). Por último, se cerró el frasco bajo el agua y posteriormente se selló fuera del agua (COGUANOR, 2013).

c) Identificación de la muestra

Una vez que la muestra fue envasada, se procedió a su debida identificación con el objetivo de evitar cualquier confusión en el proceso. Para ello, se asignó un número de muestra único y se registraron la fecha y la hora del muestreo, así como la ubicación precisa del sitio, incluyendo la dirección y las coordenadas correspondientes (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2018).

d) Transporte de las muestras de agua

El tiempo de transporte de las muestras de agua al laboratorio no excedió las 24 horas. Previo al traslado, se realizó una verificación exhaustiva para asegurar que el etiquetado de las muestras coincidiera correctamente con el registro de campo. Además, se aseguró de que los envases estuvieran completamente sellados para evitar cualquier pérdida de muestra durante el

proceso de transporte. Asimismo, se mantuvieron las muestras en hileras con suficiente hielo, a una temperatura constante de 4°C, durante todo el trayecto hasta llegar al laboratorio (Servicio Nacional de Aprendizaje, 2018).

e) Intervalo de tiempo entre la recolección de la muestra y el análisis

Se tomaron un total de 14 muestras, con un intervalo de 25 minutos entre cada una de ellas. Por lo tanto, el proceso de toma de muestras tuvo una duración aproximada de 6 horas, con un margen de error de una hora, lo que significa que el tiempo total no excedió las 7 horas. Es importante destacar que todas las muestras fueron tomadas dentro de un plazo de 24 horas desde el inicio del proceso de muestreo.

f) Análisis microbiológico

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente (CUNORI) utilizando la técnica de Fermentación de Tubos Múltiples que es considerada como estándar para la determinación del grupo coliforme, usando caldo lauril triptosa en concentración doble y simple, y como fase complementaria se usó caldo lactosado bilis verde brillante (CBVB) y caldo EC (Arias-Echandi, 2012).

g) Análisis fisicoquímicos

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Ambiental del CUNORI donde se midió el potencial de hidrógeno, color, turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos (STD), cloro residual, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro, manganeso y cromo. Los resultados se contrastaron con los límites establecidos en la Norma COGUANOR NGO 29001:2013 (anexo 2 y 3) (COGUANOR, 2013).

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, 3500-Mn B, 4500-Cl D, 4500-Cl D, 4500 Cl- E, 4500-H+ B, 4500-NO₂ B, 4500-NO₃ C, 4500-SO₄-2 F, 4500-Fe-B para cada parámetro fisicoquímico (American Public Health Association, 2017).

VIII. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua los cuales se realizaron durante dos épocas del año, seca en el mes de abril y época lluviosa en el mes de agosto.

Se determinó que lo análisis fisicoquímicos del agua potable en época seca se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001 (Tabla 2 y 3).

Tabla 2

Resultados de análisis fisicoquímicos del agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época seca parte 1

Punto de muestra	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos Totales (mg/l)	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)
Nacimiento de Agua	7.47	24.4	302	4.46	208	193.28	0.53	0.002
Tanque 1 (TQ1)	7.56	24.3	307	3.17	240	197.12	0.7	0.002
Tanque 2 (TQ2)	7.56	24.4	311	4.73	232	199.04	0.83	0.001
El Calvario	7.61	24.4	321.5	5.22	196	205.44	0.77	0.001
San Sebastián	7.71	24.3	311	5.45	228	199.04	0.72	0.002
Santa Bárbara	7.8	24.3	312	4.94	132	199.68	0.52	0.004
El Puente	7.76	24.4	316	3.51	240	200.96	0.66	0.002
El Centro	7.8	24.4	315	4.24	188	201.6	0.57	0.002
La Concordia	7.65	24.3	312	4.29	240	199.68	0.5	0.002
La Ceiba	7.75	24.3	314	4.32	236	200.96	0.47	0.001
Los Pinos	7.70	24.4	314	4.18	220	200.96	0.54	0.001
Las Palmeras	7.65	24.4	311	4.87	244	199.04	0.76	0.001
Las Margaritas	7.72	24.3	314	4.19	276	200.96	0.83	0.001
Santa Filomena	7.65	24.3	315	3.4	232	201.6	0.79	0.002
Límite Máximo Aceptable	7.0-7.5	—	750	5.0	500	500	—	—
Límite Máximo Permisible	6.5-8.5	25	1500	15.0	1000	1000	50.0	3

Tabla 3

Resultados de análisis fisicoquímicos del agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época seca parte 2

Punto de muestro	Sulfatos (mg/l)	Calcio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Cromo (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Hierro (mg/l)	Cloro residual (mg/l)	Dureza (mg/lCaCO3)
Nacimiento de Agua	12.67	98.5	37.25	0.001	0.002	0.07	0.01	135
Tanque 1 (TQ1)	11	91.5	35.5	0.001	0.002	0.075	0.02	115
Tanque 2 (TQ2)	11.33	90.5	34.6	0.001	0.000	0.055	0.68	110
El Calvario	11.47	87.5	34.3	0.002	0.002	0.07	0.72	105
San Sebastián	11.27	64.5	20.35	0.002	0.000	0.045	0.65	80
Santa Bárbara	12.53	91.5	33.1	0.001	0.001	0.05	0.81	100
El Puente	10.4	72.5	22.3	0.002	0.002	0.085	0.84	90
El Centro	11.2	144.5	57.3	0.002	0.000	0.075	0.77	210
La Concordia	11.47	67.5	29.3	0.002	0.001	0.07	0.77	85
La Ceiba	11.67	65.5	19.35	0.002	0.001	0.06	0.82	75
Los Pinos	10.07	61.5	18.2	0.002	0.000	0.065	0.85	65
Las Palmeras	11.73	68.5	20	0.001	0.001	0.085	0.76	75
Las Margaritas	11.87	64.5	21.15	0.002	0.002	0.055	0.71	75
Santa Filomena	11.4	62.5	20.2	0.001	0.000	0.055	0.82	70
Límite Máximo Aceptable	100	75	50	-----	0.100	0.3	0.50	100
Límite Máximo Permisible	250	150	100	0.050	0.400	-----	1.00	500

Durante los análisis microbiológicos de las muestras de agua realizados durante la época seca, se constató que únicamente 13 puntos de muestreo cumplían con los estándares establecidos por la norma COGUANOR 29001:2013. Es importante destacar que en el nacimiento de agua y tanque 1 no alcanzaron los criterios establecidos por dicha norma (Tabla 4).

Tabla 4

Resultados de análisis microbiológicos de agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época seca

Punto de muestro	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	E.Coli (NMP/100ml)
Nacimiento de Agua	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Tanque 1 (TQ1)	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Tanque 2 (TQ2)	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Calvario	≤ 3	≤ 3	≤ 3
San Sebastián	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Santa Bárbara	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Puente	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Centro	≤ 3	≤ 3	≤ 3
La Concordia	≤ 3	≤ 3	≤ 3
La Ceiba	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Los Pinos	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Las Palmeras	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Las Margaritas	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Santa Filomena	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Límite Máximo Aceptable LMA			
Límite Máximo Permisible LMP	≤ 3	≤ 3	≤ 3

Los análisis fisicoquímicos realizados durante la época lluviosa revelaron que la mayoría de los parámetros del agua potable se encontraban dentro de los límites aceptables establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001. Sin embargo, se observó una excepción en el parámetro de turbidez, el cual no cumplió con los estándares establecidos por dicha norma (Tabla 5 y 6).

Tabla 5

Resultados de análisis fisicoquímicos de agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época lluviosa parte 1

Punto de muestro	PH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Solidos Totales (mg/l)	Solidos Disueltos Totales (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)
Nacimiento de Agua	7.88	22.55	148.1	85.4	325	96	1.53	0.002
Tanque 1 (TQ1)	7.53	21.55	179.8	85.65	251	112.5	1.35	0.002
Tanque 2 (TQ2)	7.77	22.35	154.85	85.6	245	99.825	1.05	0.002
El Calvario	7.94	22.6	148.5	85.5	221.5	94.395	1.38	0.004
San Sebastián	7.99	20.65	153.45	81.45	121	96.5	1.47	0.002
Santa Bárbara	8.05	20.9	161.95	83.7	299	104	1.59	0.004
El Puente	8.04	21.2	150.4	90.35	413	96.25	1.16	0.002
El Centro	8.05	21.3	155.95	55.7	282	100	1	0.002
La Concordia	8.08	21.5	148.55	80.35	298	96	1.24	0.002
La Ceiba	8.09	21.55	148.55	79.3	237.5	96	0.72	0.004
Los Pinos	8.1	21.7	149.45	77.6	266	96	1.01	0.004
Las Palmeras	8.11	21.4	147.1	84.4	322	94.25	1.34	0.004
Las Margaritas	8.13	21.8	151.9	84.45	444.5	90	1.41	0.002
Santa Filomena	8.13	22.3	141.315	99.7	362	90	1.26	0.002
Límite Máximo Aceptable LMA	7.0-7.5	-----	750	5.0	500	500	-----	-----
Límite Máximo Permisible LMP	6.5-8.5	25	1500	15.0	1000	1000	50	3

Tabla 6

Resultados de análisis fisicoquímicos de agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época lluviosa parte 2

Punto de muestro	Sulfatos (mg/l)	Calcio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Cromo (mg/l)	Manganeso (mg/l)	Hierro (mg/l)	Cloro residual (mg/l)	Dureza (mg/lCaCO3)
Nacimiento de Agua	13.76	100.3	38.4	0.001	0.002	0.09	0.03	130
Tanque 1 (TQ1)	10	96.05	35.55	0.001	0.002	0.065	0.66	120
Tanque 2 (TQ2)	14.13	91.5	35	0.001	0.001	0.06	0.68	110
El Calvario	14.66	89.5	34.65	0.001	0.002	0.055	0.74	110
San Sebastián	14.86	67.25	21.8	0.001	0.000	0.06	0.72	95
Santa Bárbara	15.33	93.5	33.8	0.001	0.000	0.05	0.86	95
El Puente	12.42	76.5	21.8	0.001	0.001	0.08	0.88	90
El Centro	12.67	147	60.35	0.002	0.001	0.07	0.77	200
La Concordia	12.56	66.25	30.25	0.002	0.001	0.055	0.76	95
La Ceiba	12.76	67.5	19.35	0.002	0.002	0.06	0.85	85
Los Pinos	12.54	65.5	18.5	0.001	0.000	0.06	0.87	80
Las Palmeras	12.45	65.5	20.7	0.002	0.001	0.06	0.76	80
Las Margaritas	12.78	62	21.35	0.001	0.002	0.055	0.75	80
Santa Filomena	12.76	61	20.3	0.002	0.001	0.07	0.86	80
Límite Máximo Aceptable LMA	100	75	50		0.100	0.3	0.50	100
Límite Máximo Permisible LMP	250	150	100	0.050	0.400		1.00	500

En los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua durante la época lluviosa, se observó que 13 puntos de muestreo cumplían con los estándares establecidos por la norma COGUANOR 29001:2013. Sin embargo, se identificó que el punto de muestreo correspondiente al nacimiento de agua, no cumplía con los parámetros establecidos por dicha norma (Tabla 7).

Tabla 7

Resultados de análisis microbiológicos de agua potable de Quezaltepeque, Chiquimula en época lluviosa

Punto de muestro	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	E.Coli (NMP/100ml)
Nacimiento de Agua	≥ 2400	≥ 2400	≥ 2400
Tanque 1 (TQ1)	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Tanque 2 (TQ2)	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Calvario	≤ 3	≤ 3	≤ 3
San Sebastián	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Santa Bárbara	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Puente	≤ 3	≤ 3	≤ 3
El Centro	≤ 3	≤ 3	≤ 3
La Concordia	≤ 3	≤ 3	≤ 3
La Ceiba	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Los Pinos	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Las Palmeras	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Las Margaritas	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Santa Filomena	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Límite Máximo Aceptable LMA			
Límite Máximo Permisible LMP	≤ 3	≤ 3	≤ 3

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el análisis realizado, se evaluó la calidad del agua en el área urbana del municipio de Quezaltepeque, prestando especial atención a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Durante el estudio del agua en la época seca y lluviosa se recolectaron un total de 28 muestras por cada época del año, procedentes del nacimiento de agua, los 2 tanques de captación, 7 barrios y 4 colonias que son parte de la red de distribución. Los resultados de este estudio revelan información crucial sobre la idoneidad del agua para el consumo humano y resaltan áreas críticas que requieren atención y mitigación inmediatas.

En las Tablas 2 y 3 se detallan los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua durante la época seca, evaluando parámetros críticos que impactan directamente la potabilidad del agua. Cada parámetro, como el pH, la temperatura, y la turbidez, tiene implicaciones significativas en la calidad del agua y, por ende, en la salud de quienes la consumen, afectando aspectos como la acidez y la presencia de contaminantes y microorganismos.

Los valores de pH, un indicador esencial de la acidez del agua, se mantuvieron consistentemente dentro de los límites permisibles, sugiriendo que el agua es, en términos de acidez, segura para el consumo humano. Este equilibrio en la acidez es crucial para prevenir la corrosión de las tuberías y para evitar condiciones que favorezcan el crecimiento de microorganismos patógenos (Cristina De Sousa, 2010).

La temperatura, otro parámetro vital, también se situó dentro de los rangos normales, indicando la ausencia de fuentes significativas de contaminación térmica en la red de distribución. Una temperatura estable es indicativo de la integridad del ecosistema acuático y de la ausencia de influencias externas que podrían alterar las condiciones del agua y propiciar la proliferación de especies patógenas (Ozbayram, 2022).

Es crucial mencionar que cada uno de los parámetros analizados tiene un rol determinante en asegurar la calidad del agua y en indicar la presencia de potenciales riesgos y contaminantes. Los límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP) establecidos para cada variable son reflejo de estándares rigurosos diseñados para proteger la salud humana y asegurar la calidad del agua, y cualquier desviación de estos límites requiere atención y acción inmediatas.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua evidenciaron variaciones relevantes en parámetros como la conductividad eléctrica y la turbidez, ambos esenciales para la evaluación de la calidad hídrica. La conductividad eléctrica, que permaneció dentro de los parámetros normativos, indica la presencia de sales y minerales disueltos en el agua (Solís-Castro, Zúñiga-Zúñiga, & Mora-Alvarado, 2018), se considera apta para el consumo humano, sin implicar riesgos para la salud derivados de una concentración elevada de minerales o sales. Es imperativo mantener estos niveles de conductividad para prevenir potenciales desequilibrios electrolíticos y afecciones relacionadas con la ingesta excesiva de minerales.

Respecto a la turbidez, que alude a la presencia de partículas suspendidas en el agua, los datos revelan que, si bien la mayoría de las muestras se alinean con los estándares aceptados, algunas sobrepasan el límite de 5 NTU. Sin embargo, no llegan a exceder el límite permisible de 15 NTU.

Los análisis de parámetros como sólidos totales y disueltos, nitratos, nitritos, sulfatos, calcio, magnesio, cromo, manganeso, hierro y cloro residual son vitales para evaluar la calidad del agua y determinar su idoneidad para el consumo humano. Cada uno de estos parámetros tiene implicaciones específicas en la salud humana, como el riesgo de toxicidad de ciertos metales o la posible proliferación de bacterias patógenas en presencia de niveles elevados de nitratos.

Afortunadamente, los resultados de nuestro estudio indican que estos parámetros se encuentran dentro de los límites máximos aceptables establecidos por las autoridades sanitarias, lo que sugiere que, en el momento de muestreo, el agua era segura en términos de estos indicadores. Sin embargo, es crucial destacar que los niveles de nitratos y nitritos, que están directamente relacionados con la actividad agrícola y la escorrentía de fertilizantes, pueden ser variables y aumentar durante la época lluviosa. Niveles elevados de nitratos y nitritos pueden representar un riesgo para la salud, ya que pueden dar lugar a la formación de compuestos nocivos cuando el agua se desinfecta y, en niveles muy altos, pueden ser tóxicos, especialmente para poblaciones vulnerables (Ward, 2005).

En resumen, aunque los resultados de los análisis fisicoquímicos sugieren que, en general, el agua potable en Quezaltepeque, Chiquimula, durante la época seca, es de buena calidad y apta para el consumo humano, las anomalías detectadas subrayan la necesidad de vigilancia continua y acciones proactivas para garantizar la seguridad del agua a largo plazo.

La Tabla 4 desglosa los resultados de los análisis microbiológicos del agua durante la época seca, destacando las concentraciones de Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *E. coli* en NMP/100ml en diferentes puntos de muestreo. Alarmanamente, los datos revelan que el Nacimiento de Agua y el Tanque 1 exhiben concentraciones de estos microorganismos que superan los límites máximos permisibles, evidenciando un nivel de contaminación que no puede ser pasado por alto. La presencia elevada de Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *E. coli* es un indicativo claro de contaminación fecal, lo que sugiere una alta probabilidad de existencia de patógenos capaces de causar enfermedades graves en los consumidores de esta agua, poniendo en riesgo la salud pública.

Este tipo de contaminación puede deberse a diversas fuentes, como el escurrimiento de aguas residuales, la infiltración de aguas contaminadas, o la presencia de animales en las proximidades de las fuentes de agua (Jofré, 2014). Es imperativo, por lo tanto, realizar investigaciones exhaustivas para identificar las fuentes específicas de contaminación y tomar

medidas correctivas y preventivas inmediatas, como la implementación de sistemas de tratamiento de agua y la mejora de las prácticas de saneamiento en las áreas afectadas.

Mientras que estos hallazgos son preocupantes, es alentador observar que el resto de los puntos de muestreo que muestra la tabla 4 cumplen con la norma COGUANOR, lo que sugiere que, más allá de las áreas afectadas, la red de distribución en su conjunto está proporcionando agua que es microbiológicamente segura para el consumo humano. Este cumplimiento general con los estándares de calidad refuerza la importancia de abordar de manera urgente y específica las áreas problemáticas identificadas, para asegurar la uniformidad en la calidad del agua distribuida.

En las Tablas 5 y 6 detallan los hallazgos del análisis fisicoquímico del agua en época lluviosa, desglosando distintos parámetros críticos. En concordancia con los resultados de la época seca, estos hallazgos ilustran ciertas consistencias, pero también discrepancias significativas que son cruciales para entender la calidad del agua.

La levedad alcalina del agua, indicada por los resultados de pH, está alineada con los estándares aceptables, y aunque la temperatura fluctúa, permanece dentro de los rangos normales, sugiriendo la ausencia de fuentes significativas de contaminación térmica. La conductividad eléctrica, un indicador de la concentración de sales y otros iones en el agua, también respeta los límites establecidos, sugiriendo un equilibrio iónico aceptable.

Sin embargo, la presencia de turbidez elevada, superando el umbral de 5 NTU, sirve como una clara señal de alerta. Los niveles incrementados de turbidez, que posiblemente se deben a la erosión del suelo y a la escorrentía durante la temporada de lluvias, indican la presencia de partículas suspendidas. La turbidez elevada es un indicador de la presencia de sedimentos, microorganismos y otros contaminantes, y su presencia en niveles altos es un indicativo potencial de la degradación de la calidad del agua (Edzwald, 2011). Esta condición podría incrementar el riesgo de enfermedades hídricas, como las gastrointestinales, en las poblaciones que consumen esta agua.

Es importante profundizar la investigación sobre los factores que contribuyen a la turbidez elevada en estos puntos y formular estrategias de mitigación, como la implementación de barreras de sedimentación y la gestión sostenible del suelo, para prevenir la contaminación del agua y salvaguardar la salud de la población.

La adherencia a los límites aceptables en términos de sólidos totales, nitratos, nitritos, sulfatos, calcio, magnesio y hierro es tranquilizadora, y la baja concentración de cromo y manganeso elimina preocupaciones sobre contaminación por estos metales. Sin embargo, la prevalencia de agua “dura” en ciertos puntos, evidenciada por la elevada dureza del agua, necesita atención.

La dureza del agua es una preocupación, ya que puede generar la acumulación de sarro en las tuberías y electrodomésticos, lo cual se ha asociado con problemas de salud y costos adicionales de mantenimiento. En cuanto a los problemas de salud, si bien el consumo de agua dura no se considera generalmente peligroso y puede aportar calcio y magnesio, que son minerales esenciales, algunos estudios sugieren una posible asociación entre el agua dura y ciertas afecciones de la piel, como la dermatitis atópica, especialmente en niños (Lutai, 2012). Sin embargo, la evidencia no es concluyente y se necesitan más investigaciones para entender completamente cualquier posible relación.

Dada la variabilidad inherente a las condiciones ambientales entre estaciones, es crucial considerar que los resultados de la época lluviosa son instantáneos y susceptibles a variaciones temporales y estacionales. Las fluctuaciones en los resultados entre épocas seca y lluviosa subrayan la necesidad de un monitoreo constante y de adaptar las estrategias de manejo y tratamiento del agua a las condiciones ambientales específicas para asegurar la provisión sostenida de agua de calidad.

La Tabla 7 detalla los resultados microbiológicos del agua en la época lluviosa, reflejando la presencia de microorganismos patógenos que son indicativos de contaminación

y que, consecuentemente, plantean riesgos significativos para la salud humana. La presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E. coli es especialmente preocupante, ya que estos microorganismos son indicadores de contaminación fecal, pudiendo ser precursores de enfermedades gastrointestinales y otros trastornos relacionados. Dentro de las enfermedades de transmisión hídrica se consideran todas aquellas que son 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) .

Notablemente, en la mayoría de los puntos de muestreo de la tabla 7, se observó un cumplimiento estricto con los límites máximos permisibles, sugiriendo que el agua, en esos puntos, está en condiciones aptas para el consumo humano. No obstante, el punto de muestreo 1, correspondiente al nacimiento de agua, reflejó niveles preocupantemente elevados de estos microorganismos, superando los límites aceptables. Esta anomalía apunta a una contaminación significativa en esta fuente de agua, requiriendo una investigación inmediata para identificar y mitigar la fuente de contaminación, dada la ausencia de tratamientos de desinfección hasta que el agua llega a los tanques de captación.

Dada la gravedad de la contaminación detectada, es imperativo implementar medidas correctivas urgentes y exhaustivas en el punto de muestreo que corresponde al nacimiento de agua, así como asegurar un monitoreo constante y riguroso en todos los puntos de muestreo, en todas las estaciones del año, para prevenir la exposición de la población a agua contaminada y asegurar el cumplimiento continuo con la norma COGUANOR NGO 29001:2013.

Los hallazgos destacan la necesidad de un compromiso sostenido con la calidad del agua potable y la vigilancia sanitaria, proporcionando una base sólida para que las autoridades competentes tomen decisiones informadas acerca de las intervenciones y tratamientos necesarios para garantizar la seguridad del agua. La adopción de medidas

proactivas y preventivas basadas en estos resultados será crucial para salvaguardar la salud pública y prevenir brotes de enfermedades transmitidas por el agua.

X. CONCLUSIONES

1. La calidad del agua en el municipio de Quezaltepeque, Chiquimula según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados cumple con la norma COGUANOR NGO 29001:2013 en los tanques de captación donde es desinfectada y en la red de distribución.
2. Durante los análisis realizados a las muestras de agua en época seca y lluviosa, se detectó la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* únicamente en el nacimiento de agua. Por otro lado, se constató que el agua de los tanques de captación y red de distribución cumplía con los estándares microbiológicos establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001:2013 y resultaba adecuada para su consumo humano.
3. La calidad fisicoquímica del agua para consumo humano en el área urbana de Quezaltepeque, Chiquimula cumple con los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001:2013.
4. Se detectó contaminación microbiológica en algunos puntos de muestreo, siendo el punto 1 (nacimiento de agua) el más afectado. Esto sugiere que existen fuentes de contaminación cercanas. No obstante, gracias al proceso de cloración y desinfección del agua al llegar a los tanques de distribución, se logra cumplir con los parámetros microbiológicos establecidos por la norma COGUANO NGO 29001:2013, garantizando así la seguridad del agua que se distribuye a la red.

XI. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere que la municipalidad de Quezaltepeque tome medidas para proteger el área donde se encuentra el nacimiento de agua, asegurando que esté cercada y aislada de posibles fuentes de contaminación. Asimismo, se recomienda mantener un control riguroso para garantizar que el agua suministrada a la población cumpla con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001:2013.
2. Se sugiere implementar acciones para mejorar la calidad del agua en los puntos de muestreo donde se identificaron niveles elevados de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*. Estas acciones pueden incluir el desarrollo de sistemas de tratamiento de agua adecuados para eliminar o reducir la presencia de microorganismos patógenos, así como la identificación y eliminación de posibles fuentes de contaminación en la red de distribución.
3. Se recomienda establecer programas de monitoreo continuo de la calidad del agua, con el fin de garantizar que se mantengan los niveles adecuados de calidad y seguridad. Este monitoreo periódico permitirá identificar cualquier cambio o variación en los parámetros de calidad del agua y tomar medidas correctivas de manera oportuna.
4. Se sugiere que los responsables del área de agua de la municipalidad de Quezaltepeque desarrollen un documento o guía que establezca los procesos y protocolos necesarios para el mantenimiento adecuado de los tanques de captación. Esta guía servirá como referencia tanto para el personal encargado como para informar a la población sobre las medidas tomadas para asegurar la calidad del agua suministrada.
5. Se recomienda promover la educación y conciencia sobre la importancia de la calidad del agua potable y su impacto en la salud pública entre la población del municipio de Quezaltepeque, Chiquimula.

XII. REFERENCIAS

- Academia Nacional de Ciencias. (1989). *Drinking Water and Health*. Washington DC, USA: Academia Nacional de Ciencias.
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2018). *Control de calidad*. San Salvador: Gobierno de El Salvador.
- American Public Health Association. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. New York: American Water Works Association, Water Pollution Control Federation.
- Ardón, D. O. (2021). *Plan de vigilancia de la calidad del agua 2021*. Guatemala: Dirección General de Regulación, Vigilancia y Control de Salud.
- Arias-Echandi, M. &.-S. (2012). Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, 3(2), 219-225.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso de vida. *Revista Química Viva*, 11(3), 147-170.
- CNIB. (2020). *Centro Nacional de Información Biotecnológica*. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chloride-ion>
- COGUANOR. (2013). *Normas sobre calidad de agua*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- Consejo Municipal de Desarrollo. (2010). *Plan de desarrollo Quezaltepeque, Chiquimula*. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Guatemala: SEGEPLAN/DPT. Obtenido de <https://portal.segeplan.gob.gt/>
- Cristina De Sousa, A. C. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 50(2).
- Duran, J., & Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad. *Departamento de Estudios Socio-Urbanos del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad de Guadalajara. México.*, 13-36.

- Edzwald, J. (2011). *Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water*. American Water Works Association.
- FAO. (2000). *Contaminación provocada por sedimentos*. Ginebra: FAO.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Gómez, E. B. (2016). Calidad del agua. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN*, 11.
- Grael, E., Pacheco, A., & Coronado, V. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. *Ingeniería Revista académica*, 13(1), 49-58.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *XII Censo nacional de población y VII de vivienda*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- Jianmin, B., Caihong, L., Zhenzhen, Zang, Rui, W., & Yue, G. (2016). Características hidrogeoquímicas y evaluación de riesgos para la salud del nitrato en aguas subterráneas. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(6), 521–527.
- Jofré, J. B. (2014). *Indicadores y patógenos en el agua y en los alimentos: herramientas para su determinación*. Editorial Reverté.
- Julk, R. (2018). *Conductividad eléctrica*. Mexico: Scribd.
- Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Lutai, G. V. (2012). *Water hardness and health effects. Water Quality: Physical, Chemical and Biological Characteristics*.
- Maraver, F., Vitoria, I., Ferreira-Pêgo, C., Armijo, F., & Salas-Salvadó, J. (2015). Magnesio en el agua de consumo público y aguas minerales naturales en España y su contribución en cubrir las necesidades nutricionales. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1), 385. doi:10.3305/nh.2015.32.1.9026
- Martínez, M. M. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. doi:10.18273/revuin.v19n1-2020002

- Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social. (2020). *Agua de consumo humano*. España: Gobierno de España.
- Municipalidad de Quezaltepeque 2020-2024. (26 de 01 de 2021). *Dotación de letrinas en aldeas y caseríos de Quezaltepeque*. Obtenido de Facebook: https://www.facebook.com/photo/?fbid=460136839474624&set=a.460136812807960&__tn__=%3C
- Nas, B., & Berkday, A. (2006). Contaminación del agua subterránea por nitratos en la ciudad de Konya, una perspectiva GIS. *Journal of Environmental Management*, 80(1), págs. 30-37. doi:10.1016/j.jenvman.2005.07.016
- Nezhad, A., Mahdi, M., Farzadkia, M., Ahmad, J., Sayady, M., & Hossein, A. (2017). Concentraciones de nitritos y nitratos en el agua subterránea potable de la ciudad de Shiraz, centro-sur de Irán según modelos estadísticos. *Irán J Salud pública*, 46(9), 1275-1284.
- Obon, J. (2003). *Análisis microbiológico del agua*. España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- OMS. (1993). *Guidelines for Drinking-water Quality* (2 ed.). Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- OPS/OMS. (2017). *Organización Panamericana de la Salud: Agua y Saneamiento*. (Equipo Técnico Regional de Agua y Saneamiento) Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS.
- Ozbayram, E. C. (2022). The effects of climate change on aquatic ecosystems in relation to human health. *Aquatic Sciences and Engineering*, 37(3), 123-128.
- Pensamiento, J. (2011). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasagatlán, Departamento de El Progreso*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pérez-Gattorna, E. (2019). Ingeniería Sanitaria y Ambiental. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental de AIDIS Argentina*, 137(1), 46-54. doi:10.1016/j.riam.2018.10.001

- Piedrasanta, B. (1989). *Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso industrial en la ciudad de Amatitlán*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.
- Prensa Libre. (7 de mayo de 2015). Familia resulta intoxicada por consumo de agua contaminada. Zacapa: Noticias comunitarias.
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de agua industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Marcombo.
- Ríos-Tobón, S., Agudelo, R., & Gutierrez, L. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano*. Colombia: Facultad de Salud Pública, Universidad de Antioquia.
- Rodier Jean, L. B. (2011). *Análisis del Agua*. Barcelona: Omega.
- Rodríguez Ruiz, P. (2001). Abastecimiento del agua. En P. Rodríguez Ruiz, *Abastecimiento del agua* (pág. 2). México: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Science for a changing world. (2017). *La ciencia del agua para todos*. Estados Unidos: Departamento del interior de Estados Unidos.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (2018). *Manual de procedimientos de toma de muestras de aguas para análisis físico-químico y microbiológico*. Bolivia: SENA.
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). Hierro o Fierro Total. *Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del agua*.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. doi:10.18845/tm.v31i1.3495
- Soto, J. (2017). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 8(1), 167-177.
- Ward, M. H. (2005). Workgroup report: Drinking-water nitrate and health. *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1607-1614.

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

XIII. ANEXOS

Anexo No. 1. Tablas

Tabla 1

Comunidades y Sistemas de Abastecimiento de Agua para consumo humano en el municipio de Quezaltepeque

Área	Comunidades	Comunidades con sistema de abastecimiento de agua	Comunidades sin abastecimiento de agua
Urbana	11	11	0
Rural	66	52	14
Total	77	63	14

Fuente: Ardón, 2021

Tabla 2

Fuente principal de agua para consumo del municipio de Quezaltepeque

Total de hogares	Fuente principal de agua para consumo								
	Tubería en la vivienda	Tubería fuera de la vivienda	Chorro público	Pozo perforado	Agua de lluvia	Río o lago	Manantial o nacimiento	Camión o tonel	Otro
6 688	3 564	930	148	265	17	146	1 542	32	44

Fuente: Censo INE, 2018

Tabla 3*Tipo y uso de servicio sanitario del municipio de Quezaltepeque*

Total de hogares	Tipo de servicio sanitario					Uso del servicio sanitario	
	Inodoro conectado o a red de drenajes	Inodoro conectado o a fosa séptica	Excusado lavable	Letrina o pozo ciego	No tiene	Exclusivo	Compartido
6 688	1 593	2 751	978	482	884	5 275	529

Fuente: Censo INE, 2018

Anexo No. 2. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) para análisis físico según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Características</i>	<i>Límite máximo aceptable</i>	<i>Límite máximo permisible</i>
Color	5.0 u	35.0 u ¹
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT ²

1. Unidades de color en la escala de platino-cobalto.

2. unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Fuente: COGUANOR, 2013

Anexo No. 3. Límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP) para análisis químico según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Características</i>	<i>Límite máximo aceptable</i>	<i>Límite máximo permisible</i>
Cloro residual libre ^{1,2}	0.5 mg/L ³	1.0 mg/L
Conductividad	---	<1,500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de Hidrógeno ⁴	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos Totales Disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L
Manganeso (Mn)	0.050 mg/L	0.500 mg/L
Hierro Total (Fe)	0.100 mg/L	1.000 mg/L
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10 mg/L
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1 mg/L

1. El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0 con el propósito de reducir en un 90% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.
2. En ocasiones que prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.
3. Miligramos (mg) por litro (L).
4. En unidades de pH.

Fuente: COGUANOR, 2013

Anexo No. 4. Fotografías capturadas en época seca

Fotografías 1 y 2

Áreas que se encuentran alrededor del nacimiento de agua



Nota. En la fotografía 1 se observa la parte superior de la montaña Laguis ubicado en aldea Azacualpa del municipio de Quezaltepeque, en donde se encuentra ubicado el nacimiento de agua. En la fotografía 2 se observa río llamado La conquista que se encuentra en la parte inferior de la montaña antes mencionada a un costado del nacimiento de agua.

Fotografías 3 y 4

Área del nacimiento de agua y tuberías

Nota. En la fotografía 3 se observa el lugar del nacimiento de agua y tubería que lleva el agua hasta los tanques de captación. En la fotografía 4 se observa el nacimiento de agua que llega a un estanque y la formación del arroyo,

Fotografías 5, 6, 7 y 8

Muestreo en nacimiento de agua y tanques de captación



Nota. En las fotografías 5 y 6 se observa el muestreo realizado en el nacimiento de agua. En las fotografías 7 y 8 se observa el muestreo realizado en los tanques de captación.

Fotografías 9, 10, 11 y 12

Muestreo en la red de distribución



Nota. En las fotografías 9 y 10 se observa el procedimiento de esterilización antes de la toma de muestra de un grifo. En la fotografía 11 se observa la recolección de la muestra de agua en frasco estéril para análisis microbiológico. En la fotografía 12 se observa la toma de muestra en recipiente de plástico para análisis fisicoquímico.

Anexo No. 5. Fotografías capturadas en época lluviosa

Fotografías 13 y 14

Áreas que se encuentran alrededor del nacimiento de agua



Nota. En las fotografías 13 y 14 se observa el río llamado La conquista que se encuentra en la parte inferior de la montaña Laguis, a un costado del nacimiento de agua.

Fotografías 15 y 16

Área y muestreo del nacimiento de agua



Nota. En las fotografías 15 se observa la salida de agua del estanque en donde llega el agua del nacimiento con abundante corriente de agua. En la fotografía 16 se observa el muestreo en el nacimiento de agua.

Fotografías 17 y 18

Muestreo en tanques de captación

Nota. En las fotografías 17 se observa el tanque de captación 1. En la fotografía 18 se observa el tanque de captación 2.

Fotografías 19 a 24

Muestreo de agua en diferentes puntos

Nota. En las fotografías 19 se observa el muestreo en el barrio El puente. En la fotografía 20 se observa el muestreo en barrio Santa Bárbara. En la fotografía 21 se observa el muestreo en barrio San Sebastián. En la fotografía 22 se observa muestreo en barrio El calvario. EN las fotografías 23 y 24 se observa la turbidez del agua en la época lluviosa.

Anexo 7. Fotografías del exterior de los tanques de captación.



Nota. En las fotografías se observan el exterior de los tanques de captación.

Anexo 8. Fotografías de análisis de las muestras de agua.

Nota. En las fotografías se observan las muestras de agua que se utilizaron para análisis fisicoquímicos y microbiológicos. A la vez el resultado que se obtuvo en los medios de cultivo para identificación de coliformes fecales para el análisis microbiológico donde es visible el cambio de color de los tubos positivos en las muestras recolectadas del nacimiento de agua. También se observan fotografías de equipos especiales para la medición de pH y turbidez para los análisis fisicoquímicos.

Sonia Estefany Dubón Lara

Autora

Dra. Karin Larissa Herrera Aguilar

Asesora

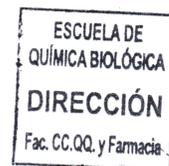
MSc. Ricardo Andres Figueroa Ceballos

Revisor

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel

Director

Escuela Química Biológica



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino

Decano en funciones

