

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

DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
QUE SUMINISTRA LA MUNICIPALIDAD DE MIXCO A BALCONES III DE SAN
CRISTOBAL, MUNICIPIO DE MIXCO.

Maria Elena Barrera Garzaro
Químico Biólogo

Guatemala, octubre del 2024

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

**DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
QUE SUMINISTRA LA MUNICIPALIDAD DE MIXCO A BALCONES III DE SAN
CRISTOBAL, MUNICIPIO DE MIXCO.**

Informe de Tesis

Presentado por

Maria Elena Barrera Garzaro

**Para optar al título de
Químico Biólogo**

Guatemala, octubre del 2024

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Miembros de 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

TESIS QUE DEDICO

A DIOS

Por ser el centro de mi vida.

A MIS PADRES

Dr. Minor Rene Barrera López y Dra. Zulema Esperanza Garzaro Rivas de Barrera, por dame su apoyo incondicional, guiarme, aconsejarme en los momentos que los necesité y enseñarme a nunca perder la fe.

A MIS HERMANOS

Edgar René y Lilian Carolina por el apoyo que me brindaron a cada instante y a su manera.

A MI NOVIO

Por su ayuda y por estar conmigo a pesar de todas las dificultades.

A MIS FAMILIARES

Por sus consejos y sabiduría.

A MIS AMIGOS

Por todo lo vivido y lo compartido en nuestra vida universitaria y laboral. Por todas las alegrías, enojos, tristezas, etc.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Al Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) USAC

Laboratorio BQB, S.A.

A mi Asesor M.Sc. Sergio Lickes

INDICE

I. RESUMEN.....	8
II. ANTECEDENTES	10
A. El agua	10
B. Contaminación del agua.....	10
1. Características microbiológicas del agua potable	14
2. Características físicas y organolépticas del agua potable.....	15
3. Características químicas del agua potable	16
C. Determinación bacteriológica del agua a través de la Técnica de Fermentación por Tubos Múltiples (NMP).....	19
D. Determinación de las variantes fisicoquímicas del agua	20
E. Generalidades del lugar de muestreo	21
F. Estudios Realizados	21
III. JUSTIFICACION	25
IV. OBJETIVOS.....	26
GENERAL:.....	26
ESPECIFICOS:.....	26
V. HIPOSTESIS.....	27
VI. Materiales y Métodos.....	28
1. Universo del trabajo:	28
2. Muestra	28
3. Recursos Humanos	28
4. Recursos institucionales.....	28
5. Equipo y materiales de laboratorio:.....	28
6. Procedimiento.....	29
a. Para análisis bacteriológico:	29
b. Para análisis fisicoquímico y organoléptico:	30

c. Técnica para Coliformes totales, fecales y <i>E. coli</i>	30
7. Diseño y técnica de la investigación	33
a. Numero de replicas y diseño de muestreo	33
VII. RESULTADOS	36
VIII. Discusión.....	40
IX. Conclusiones.....	44
X. Recomendaciones.....	45
XI. BIBLIOGRAFIA	46
XII. ANEXOS.....	50

I. RESUMEN

El agua es uno de los elementos más importantes para la vida de los seres vivos, (Ricón, 2015). El agua es de necesidad vital para los seres vivos e influye de forma directa en la salud.

La calidad de la misma para el consumo humano se debe de estudiar debido a que está asociada a diversas enfermedades (Guzmán, Nava y Díaz, 2015). Por lo tanto, es necesario realizar exámenes bacteriológicos, físicos, químicos y organolépticos, entre otros, para determinar si el agua es apropiada para consumo humano.

El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis (Organización mundial de la Salud, 2022). Por lo tanto, hay que realizarle evaluaciones microbiológicas. Si no hay servicios de agua y saneamiento, o estos llegan hacer insuficientes o están gestionados de forma inapropiada, la población estará expuesta a riesgos de salud prevenibles (Organización mundial de la Salud, 2022).

El examen bacteriológico es el más sensible y específico que se puede realizar para medir la cantidad bacteriológica del agua (Roldan, 2006). Este examen se basa en buscar microorganismos indicadores de contaminación fecal, conocidos como coliformes. Algunas especies de este grupo no son consideradas de origen fecal, y pueden estar presentes en otros ambientes. Por lo que se considera a la *Escherichia coli* como un indicador más preciso de contaminación fecal (Roldan, 2006).

“En Balcones III de San Cristóbal del municipio de Mixco, en el departamento de Guatemala, sus habitantes han notado que el agua ha llegado con escases, y en diversas ocasiones con pequeñas partículas que hacen desconfiar del agua como tal, reportan que al nomás entrar el agua llega de un color blanco y turbio, así

también muchos de sus pobladores utilizan esta agua para consumo propio, utilizando ecofiltros pero se quejan de que aun usando estos filtros el agua en cuestión de días aparece una liga verde en los utensilios donde depositan la misma para tomarla.” (Comité de vecinos de Balcones III, comentarios de los habitantes, septiembre 2021). Por lo cual, se implementa esta investigación para determinar la calidad bacteriológica, físicas, químicas y organolépticas del agua que la municipalidad le provee a la colonia de Balcones III de la ciudad de San Cristóbal por medio de la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR 29001, Agua para consumo humano (agua potable); siguiendo las especificaciones de la misma para el agua potable.

El estudio demostró que la calidad del agua del tanque que abastece a la colonia de balcones III, como las casas muestreadas aleatoriamente, se encuentran en buen estado, tanto bacteriológico como fisicoquímico y organoléptico, estableciendo así que la municipalidad del Mixco cumple con los Límites Máximos Aceptable de los parámetros analizados de la colonia de Balcones III, según la norma COGUANOR NTG 29001 2013.

II. ANTECEDENTES

A. El agua

El agua es un recurso con una gran demanda (Salamanca, 2016). Es importante dar a conocer que los organismos vivos están compuestos en una alta proporción por agua, y se encuentra entre los músculos, órganos y diferentes tejidos. Por lo cual el agua, es una sustancia de suma importancia para la existencia de la vida (Morales, Olier, Cano, y Vergara, 2019).

La agricultura es el sector económico más relevante para la escasez de agua. Actualmente la agricultura consume el 70% de los recursos de agua dulce y más del 90% del consumo de agua dulce. La extracción de agua en los hogares representa sólo el 10% del consumo total de agua, una tasa de consumo muy baja. La mayor parte del agua doméstica regresará al medio ambiente con pérdidas mínimas por evaporación, incluso si la calidad del agua disminuye (Soler, J. (2020).

El agua es un recurso imprescindible para la supervivencia de los seres vivos, además de ser un recurso socioeconómico, también ayuda para la producción de energía, como también para la carrera de químicos biólogos para el sistema industrial.

B. Contaminación del agua

En la actualidad nos enfrentamos a una diversidad de contaminación que afecta a ríos, mares, océanos, canales, lagos y embalses.

Existen diferentes tipos de contaminación en la cual podemos mencionar estos:

1. Microorganismos patógenos: este tipo de contaminación es debida a bacterias, virus, protozoos, los cuales pueden causar enfermedades graves como el cólera, tifus, hepatitis, leptospirosis, etc.
2. Desechos orgánicos: Su origen son los residuos producidos por las actividades del ser humano. La existencia del material biodegradable o materia de fácil descomposición fomenta el crecimiento de bacterias que consumen el oxígeno existente en el agua, y la falta de este dificulta la vida de los organismos aerobios, y los anaerobios liberan sustancias tóxicas, como el amoníaco y sulfuros.
3. Sustancias Químicas Inorgánicas: entre estos están los ácidos, sales y metales tóxicos. En altas concentraciones estos pueden ser muy perjudiciales para la salud de los seres vivos, afectarían el rendimiento de las producciones agrícolas, así como también corroerían los equipos de trabajo.
4. Nutrientes vegetales inorgánicos: Como los nitratos y fosfatos, los cuales son sustancias solubles que las plantas necesitan para su desarrollo y que estimulan el crecimiento de algas y otros organismos, produciendo en aguas una eutrofización, consumiendo todo el oxígeno de la misma, y disminuyendo la biodiversidad del agua.
5. Compuestos Orgánicos: en este caso se encuentra el petróleo, la gasolina, los plásticos, los plaguicidas, etc. Siendo estos de difícil degradación por lo cual estarían por varios años obstruyendo la utilización del agua.
6. Sedimentos y materiales suspendidos: estos enturbian el agua y son de difícil disolución en la misma, dificultan la vida de los organismos bajo el agua. Los sedimentos asentados dañan y obstruyen el curso del agua.
7. Sustancias radiactivas: como los isótopos radiactivos solubles, los cuales cuando están presentes en el agua, pueden acumularse en cadenas tróficas durante largos periodos de tiempo, y se acumulan en los tejidos de los organismos vivos.

8. Contaminación Térmica: Provocada por las fábricas de energía u otras industrias que liberan las aguas a grandes temperaturas, disminuyendo la capacidad de mantener el oxígeno en el agua, afectando a los organismos acuáticos.

(Valdivielso, 2021)

Se sabe que, en Guatemala, el 75% de la población tiene acceso a agua potable domiciliar la cual cada vez está en aumento, donde el área urbana posee el 90% de acceso y el área rural solo el 60%. El ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Servicio para el desarrollo (SER) reportaron en un comunicado que más del 90% de las fuentes de agua tienen contaminación bacteriológica, incluso residuos fecales provocando enfermedades diarreicas en las personas que las consumen (Fundación Laudato SI, 2020); provocando así una disminución en la calidad del agua, volviéndola no apta para el consumo humano. Considerando el agua de Guatemala un tema de “seguridad nacional” ya que sin este recurso perjudica principalmente a la salud y la nutrición, así como la seguridad nacional y del desarrollo económico (FUNCAGUA, 2022).

Esto sucede debido a que no se realizan tratamientos debidos a las aguas residuales y los municipios descargan sus residuos directamente a los ríos y lagos, aumentando la contaminación hídrica, causando así enfermedades en los seres humanos (Fundación Laudato SI, 2020).

Tratamiento para la obtención de agua potable

El propósito de tratar el agua para consumo humano es eliminar los residuos y mejorar la calidad del agua, en cuando a olor, color, sabor y apariencia. Existen técnicas para el tratamiento de aguas residuales y de abastecimiento para consumo humano, estas se complementan en procesos físicos, químicos o biológicos (Salamanca, 2016).

Los físicos: concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtrarla. Entre los cuales podemos mencionar: filtración, adsorción, aereación, floculación y sedimentación (Salamanca, 2016).

Los químicos: proceso en el cual resultan nuevas sustancias. Los más comunes son: coagulación, desinfección, ablandamiento, oxidación.

Los biológicos: utilizando organismos vivos para provocar cambios químicos, como la digestión aerobia o anaerobia.

La Agencia de Protección Ambiental de los USA (EPA) menciona algunas de las técnicas de tratamiento del agua para el consumo humano: desinfección con cloro, desinfección con Ozono, radiación ultravioleta (UV), entre otras (Salamanca, 2016).

Normas que avalan el agua potable

El agua potable se define como: aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001 (Comisión Guatemalteca de Normas, 2013).

El agua para consumo humano debe cumplir con algunas características como ya se ha mencionado, las características físicas y organolépticas las cuales son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio, así mismo las características químicas son aquellas debidas a compuestos químicos ya sea orgánicos e inorgánicos, también deben cumplir con las características microbiológicas las cuales se originan por la presencia de microorganismos que determinan la calidad del agua (Comisión Guatemalteca de Normas, 2013).

Según la Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NTG 29001, se debe tener en cuenta algunos conceptos para la lectura de sus tablas y poder interpretar de buena manera las características correspondientes al agua potable. Estos conceptos son:

- 1) Límite Máximo Aceptable (LMA): valor de la concentración de cualquier característica del agua, por arriba de la cual estas son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
- 2) Límite Máximo Permisible (LMP): valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

(Comisión Guatemalteca de Normas, 2013).

1. Características microbiológicas del agua potable

Para que el agua sea potable para consumo humano, esta no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias que perjudiquen la salud del mismo (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Para la verificación de la calidad microbiológica del agua potable (Tabla 1) se debe realizar un análisis microbiológico, el cual consistirá en analizar la presencia/ausencia de microorganismos indicadores de contaminación, además también se realizan evaluaciones determinantes de las concentraciones de contaminantes fecales específicos, como *Escherichia coli* (Organización Mundial de la Salud, 2006).

Tabla 1. *Valores guía para la verificación de la calidad microbiológica del agua.*

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

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001, 2013.

2. Características físicas y organolépticas del agua potable

Según la norma COGUANOR 29001 contempla las siguientes como características físicas y organolépticas del agua potable, (Tabla 2):

1. Color, olor y sabor

El color del agua puede ser variable debido a la presencia de diferentes componentes presentes en el agua, como el hierro, manganeso o materia orgánica. El color verdadero del agua se determina después de que esta se centrifuga para retirar las partículas disueltas presentes en la misma.

Los olores y sabores rechazables (desagradables) ocasionan que no sea apta para el consumo humano y en algunos casos intolerable para la industria. Estos factores pueden ser ocasionados por microorganismos, sustancias químicas entre otros.

2. Turbiedad

Este factor se debe a las partículas suspendidas que se encuentran en el agua, dándole un aspecto opaco. Estas partículas pueden ser granos del suelo en contacto con el agua, microorganismos u otras sustancias químicas presentes.

3. Conductividad eléctrica

Este factor es la capacidad que tiene el agua para transportar energía eléctrica, generalmente, se debe a sustancias iónicas, y también depende de la temperatura.

4. Temperatura

Este factor afecta únicamente al consumidor, debido a que no es un determinante de agua potable.

(Organización Mundial de la Salud, 2011).

Tabla 2. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.

Características	LMA	LPM
Color	5,0 u	35,0 u ^a
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^b
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5- 8,5 ^{c,d}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

^aUnidades de color en la escala de platino-cobalto

^bUnidades nefelométricas de turbiedad (UNT)

^cEn unidades de pH

^dLímites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001, 2013.

3. Características químicas del agua potable

Según la norma COGUANOR 29001 las siguientes son consideradas como características químicas del agua, (tabla 3):

1) Dureza total, calcio y magnesio

La dureza total es la cantidad equivalente al carbonato de calcio referente a la cantidad de calcio y magnesio contenidas en el agua.

El magnesio, el calcio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. Por lo tanto, el agua que contiene grandes cantidades de estos iones, se denomina agua dura, y agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se denomina agua blanda.

2) Potencial de hidrógeno

Indicador de la basicidad o acidez del agua. Esta debe de encontrarse en un rango de 6.5-8.5 generalmente, un cambio de este puede ser debido a alguna fuente contaminante.

Gracias a diferentes métodos por ejemplo el método físico para determinar la concentración de hidrógeno, por medio de electrodos que brindan dicho valor, o en otros casos métodos químicos, que evalúan cambios de coloración con sustancias al contacto con el agua.

3) Sólidos totales disueltos

Se refiere a todos los sólidos ya sean orgánicos o inorgánicos que están disueltos en el agua, pudiendo afectar sus características físicas, entre ellas el sabor.

Al elevarse este contenido, provoca un efecto laxante, o provocar corrosión en tuberías.

4) Aluminio, Zinc y cobre

El aluminio es muy abundante en diferentes partes de la tierra como en los minerales, rocas y arcillas. Por su amplia presencia en los diferentes materiales terrestres, se encuentra en todas las aguas naturales, en forma de sales solubles. El Zinc es uno de los metales terrestres menos comunes, mientras que el cobre es uno de los que existe en grandes

cantidades debido a que se encuentra en los sulfuros minerales. Las presencias de metales en el agua potable pueden provocar daño a la salud y a los diferentes cultivos.

5) Nitratos y nitritos

Estos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. Estos se encuentran en el agua como parte de descomposición biológica de material proteico.

6) Hierro y manganeso

Ambos son metales. El hierro se encuentra de forma natural en las aguas, principalmente en las subterráneas, debido a las sales solubles (ferrosas). Este es un constituyente normal del organismo y no es tóxico en pequeñas cantidades. Sin embargo, en la industria si afecta un aumento de hierro y de magnesio en niveles mayores al permitido por la norma.

7) Fluoruros

Elemento abundante en la naturaleza y muy tóxico, además de reactivo, por lo que es necesario controlar sus niveles en el agua potable.

8) Amoniaco

Es un gas incoloro característico, soluble en agua, es una fuente de nitrógeno para plantas y animales, sin embargo, con niveles altos suele ser perjudicial para la salud.

(Organización Mundial de la Salud, 2011).

Tabla 3. Características químicas que debe tener el agua para consumo humano.

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

a. El ministerio de salud pública y asistencia social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.

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

Fuente: Norma COGUANOR NGT 29001

C. Determinación bacteriológica del agua a través de la Técnica de

Fermentación por Tubos Múltiples (NMP).

Es una técnica común en la cual el procedimiento se basa en diluciones en serie, haciendo crecer microorganismos en medios de cultivos sintéticos sólidos o líquidos, en este caso la estimación por el método del número más probable (NMP). Este método fue descrito por McCrady en 1915 y actualmente sigue siendo ampliamente utilizado (Harlin, 2020; Hach, 2022).

Este método se basa en la capacidad que tienen las bacterias coliformes de fermentar la lactosa con producción de gas (CO₂), al ser incubadas a 35°C ± 0,5°C durante 48h. Esta técnica comprende una prueba presuntiva y una confirmativa. Esto es así porque una positividad en un tubo de la prueba presuntiva no indica necesariamente la presencia del grupo bacteriano a determinar (coliformes totales y coliformes fecales), sino que es tan solo una presunción, que habrá de confirmarse posteriormente. Sin embargo, un resultado negativo de la prueba presuntiva permite

dictaminar la ausencia de dicho grupo bacteriano en el agua examinada (Harlin, 2020; Hach, 2022).

La denominada prueba presuntiva consiste en una metodología de tipo general para cualquier grupo de bacterias, mientras que la confirmativa es más específica. Los coliformes fecales son un subgrupo de coliformes totales, capaces de fermentar lactosa a 44°C en vez de 37°C como lo hacen los totales. Se sabe que aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. También son llamados termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Su presencia se interpreta como contaminación en aguas (Harlin, 2020; Hach, 2022).

D. Determinación de las variantes fisicoquímicas del agua.

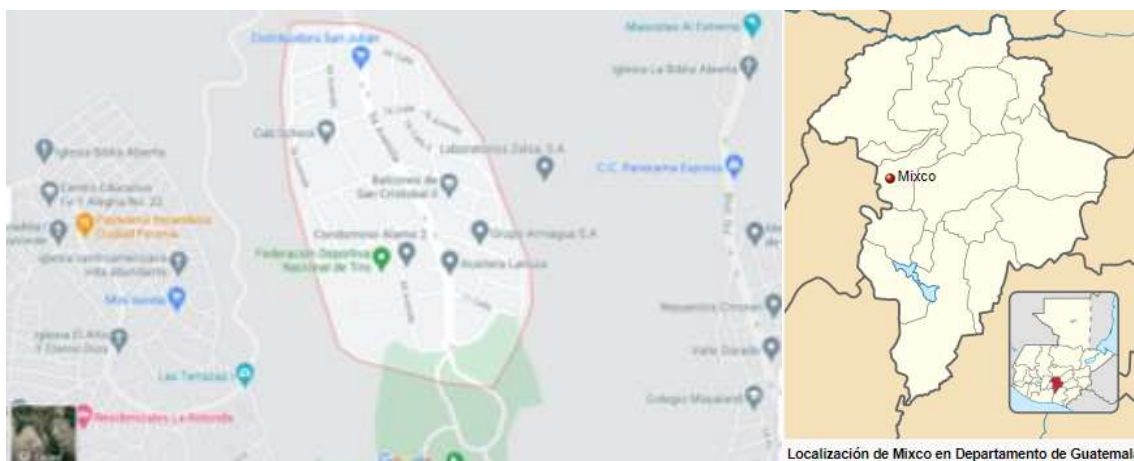
- a. Dureza total: se realiza a través de una titulación por medio de una solución tituladora (EDTA) y un reactivo especial para calcular la dureza (UniVer), en el cual se mezcla con la muestra y se agrega la solución titulante por medio de gotas, hasta que esta cambie de un rosado a azul, reportando la dureza total como mg CaCO₃/L, multiplicando el número de gotas por el factor 500.
- b. Turbidez: se utiliza un medidor llamado turbidímetro, el cual lee la turbidez del agua, reportándolo en unidades nefelométricas de turbidez (UNT).
- c. pH: se utiliza un electrodo para la muestra de agua, de debe quedar quieto y sin tocar las paredes del recipiente, hasta que se estabilice la lectura, anotar el resultado, reportándolo como unidades de pH.
- d. Color: se utiliza un espectrofotómetro, el cual mide el color haciendo brillar un haz de luz y captura la cantidad de luz que se refleja a través de la muestra. El resultado se debe reportar como unidades de platino cobalto Ptco. Conductividad eléctrica: se utiliza un medidor que permite medir la corriente eléctrica que pasa sobre esta, y se reporta en µS/cm.

(HACH, 2000)

E. Generalidades del lugar de muestreo

Balcones III de San Cristóbal es una colonia del municipio de Mixco, del departamento de Guatemala. Esta colonia forma parte de la zona 8 de Mixco, la cual se encuentra ubicada en el sur occidente del área metropolitana del departamento de Guatemala (Figura.1). Es una zona que cuenta con todos los servicios básicos para las viviendas como el agua potable en un 96%, drenajes con un 97%, electricidad un 100% y extracción de basura en un 97% (Municipalidad de Mixco, 2018).

Figura 1. Balcones III de Ciudad San Cristóbal, Mixco.



Fuente: Google Maps, 2021. <https://bit.ly/3SmBlyY>

F. Estudios Realizados

En la Universidad San Carlos de Guatemala, específicamente en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia se han realizado diversos estudios sobre el control de la calidad del agua potable en diversas regiones de Guatemala, pero no existe un estudio realizado en Balcones III de San Cristóbal, Mixco. (Tabla 4)

En el 2005 se realizó una determinación de la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano que se suministra a la población del

municipio de Palín, Escuintla. Determinando que los parámetros físicos y químicos si cumplen con la norma COGUANOR 29001, mientras que no cumple en el examen bacteriológico debido a la presencia de coliformes fecales, concluyendo que el agua no es apta para consumo humano (Zanotti, 2005).

En noviembre del 2006, se realizó la determinación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa, encontrándose que si cumplen los parámetros físicos establecidos según la norma COGUANOR NTG 29001, en los parámetros químicos se encontró un nivel alto de cloruros y en el microbiológico se encontró la presencia de Coliformes totales, fecales y *E. coli* por lo tanto no es apta para consumo humano (Roldan, 2006).

En enero del 2009, se realizó una evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de la planta municipal que abastece el departamento de Zacapa, encontrándose que el examen fisicoquímico concordaba con la norma COGUANOR NTG 29001, por lo tanto, cumple con los parámetros analizados (Molina, 2009).

En febrero del 2011, se realizó una determinación de la calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, departamento del Progreso, encontrándose que el análisis microbiológico demuestra presencia de Coliformes totales, fecales y *E. coli*, en las muestras de agua, en el análisis físico cumplen con la norma COGUANOR NTG 29001, mientras que en el análisis químico se encontraron restos de cromo y cloro residual en un nivel elevado, clasificando el agua como no apta para consumo humano (Pensamiento, 2011).

En julio del 2014 se realizó una determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en el municipio de Patzité del departamento del Quiché. Determinando que el agua no es potable,

ni apta para consumo humano, debido a que no cumple con las normas COGUANOR 29001 tanto para parámetros bacteriológicos como para químicos (Guix, 2014).

En noviembre del 2017, se realizó un análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala, encontrándose que las evaluaciones física y química cumplen con la norma COGUANOR NGT 29001, mientras que el análisis microbiológico demuestra presencia de Coliformes totales y *E. coli* clasificando la misma, como no apta para consumo humano (Barahona, 2017).

Tabla 4. Cuadro comparativo de los estudios realizados

Lugar de muestreo	Metodología utilizada	Resultados	Conclusión
Municipio de Guazacapán, Santa Rosa	Fermentación de tubos múltiples del número más probable (NMP) y standard methods for te examination of wáter and wastewater	Niveles altos de cloruros y presencia de coliformes totales, fecales y <i>E.coli</i> según la norma COGUANOR 29001.	No apta para consumo humano.
Zacapa	Métodos variados para ensayos fisicoquímicos.	Las muestras se encontraron dentro de los límites aceptables según la norma COGUANOR 29.001 para los diferentes parámetros.	Cumple con los parámetros analizados.
San Agustín Acasaguastlán, El progreso	Fermentación de tubos múltiples del número más probable (NMP) y standard methods for the examination of water and wastewater.	Presencia de coliformes totales, fecales y <i>E. coli</i> . Por encima de los límites máximos permisibles por la norma COGUANOR 29001. El 52% de las muestras no cumple con los parámetros fisicoquímicos de cromo y cloro residual.	No apta para consumo humano.
Boca del monte, Villa Canales, Guatemala	Fermentación de tubos múltiples del número más probable (NMP), pruebas fisicoquímicas según norma COGUANOR 29001.	El análisis físico-químico cumple con la norma COGUANOR 29001, pero hay presencia de coliformes totales y <i>E. coli</i> .	No apta para consumo humano.
Palín, Escuintla.	Fermentación de tubos múltiples (NMP), parámetros físicos y químicos según la norma COGUANOR 29001.	Presencia de coliformes fecales y totales	No apta para consumo humano
Patzité, Quiché	Fermentación de tubos múltiples (NMP). Parámetros fisicoquímicos según la norma COGUANOR 29001.	Presencia de coliformes fecales. Mayor del límite permisible para Magnesio y cloro residual	No apta para consumo humano

Fuente: datos obtenidos de los antecedentes, realizado por Maria Barrera

III. JUSTIFICACION

El agua es uno de los recursos vitales más importantes para los seres vivos. En muchas regiones de Guatemala existe la problemática de que no le dan la importancia adecuada en cuanto al sistema de calidad, originando así grandes problemas de salud.

El deterioro del agua a nivel nacional ha ido aumentando debido al aumento de población y por ende de contaminación generada por aguas residuales de diferentes orígenes provocando así una disminución en la calidad del agua, volviéndola no apta para el consumo humano. Por lo cual el agua de Guatemala debe ser considerada un tema de “seguridad nacional” ya que sin este recurso perjudica principalmente a la salud y la nutrición, así como la seguridad nacional y del desarrollo económico (FUNCAGUA, (2022).

El agua que suministra la municipalidad proviene de un pozo que se encuentra dentro de la colonia de balcones 3, en la 5ta calle. El agua pasa por un sistema de tratamiento, luego es distribuido a las casas. El pozo les suministra agua a diferentes colonias, entre las que están Balcones 1, balcones 2, balcones 3.

Actualmente en Balcones III de San Cristóbal, del municipio de Mixco, de la Ciudad de Guatemala, no se tiene un estudio como tal del estado del agua que suministra la municipalidad al sector, demostrando la calidad de la misma para consumo humano, y por las quejas que se han tenido por los pobladores de dicha colonia, se pretende evaluar las características bacteriológicas, físicos, químicas y organolépticas del agua, según la norma de COGUANOR 29001.

IV. OBJETIVOS

GENERAL:

Determinar la calidad bacteriológica, física, química y organoléptica del agua que la municipalidad provee a la colonia Balcones III de la ciudad de San Cristóbal, municipio de Mixco, siguiendo la norma COGUANOR 29001.

ESPECIFICOS:

1. Determinar la calidad bacteriológica del agua a través de la presencia/ausencia de coliformes totales, *Escherichia coli* en el agua para consumo humano que abastece la municipalidad de Mixco a Balcones III de la Ciudad de San Cristóbal, Municipio de Mixco.
2. Determinar la calidad física, química y organoléptica del agua para consumo humano que abastece la municipalidad de Mixco a Balcones III de la Ciudad de San Cristóbal, Municipio de Mixco.
3. Realizar los informes correspondientes y entregarlos a los habitantes de la colonia Balcones III de la ciudad de San Cristóbal, Municipio de Mixco, sobre la calidad del agua que les ha sido suministrada por la municipalidad para consumo humano.

V. HIPOSTESIS

El agua que suministra la Municipalidad de Mixco a Balcones III de San Cristóbal, Municipio de Mixco, no es apta para consumo humano.

VI. Materiales y Métodos

1. Universo del trabajo:

Agua proveniente del servicio suministrado por la municipalidad a la colonia Balcones III de San Cristóbal, del Municipio de Mixco.

2. Muestra

Las muestras de agua se recolectaron del pozo y viviendas de la Colonia Balcones III de San Cristóbal, del Municipio de Mixco en dos épocas del año (época seca y época lluviosa).

3. Recursos Humanos

M.Sc. Sergio Lickes (Asesor)

Br. María Elena Barrera Garzaro (Tesisista)

4. Recursos institucionales

Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) USAC, para los análisis microbiológicos.

Laboratorio BQB, S.A., para los análisis fisicoquímicos

5. Equipo y materiales de laboratorio:

a. Materiales

Agua destilada

Autoclave

Balanza

Campana de flujo laminar

Cápsula de porcelana

Frascos de plástico

Hielera

Horno
Incubadora
Mechero Bunsen
Pipetas volumétricas
Pipetor
Tubos de ensayo
Gradillas
Espátulas
Marcador

b. Reactivos

Caldo Fluorocult Modificado según Manasi y Ossmer (LMX)
Reactivo de Kovacs
Solución de fenoftaleína
Controles positivos
Controles negativos
Cepa ATCC de *E. coli*.

6. Procedimiento.

a. Para análisis bacteriológico:

- Se utilizaron recipientes plásticos de 250 mL, estériles.
- Se procedió a esterilizar la boca de la salida del agua (grifo de las casas y pozo) con la ayuda de un encendedor para flamear el área.
- Se abrió la llave del grifo, se dejará correr el agua por 1 minuto aproximadamente, luego tomar la muestra directamente y tapar inmediatamente el recipiente al estar lleno.
- Se identificó con los datos del lugar, fecha y hora.

- Se procedió a transportar las muestras en hieleras con sus respectivos enfriadores.

b. Para análisis fisicoquímico y organoléptico:

- Se utilizaron recipientes plásticos con capacidad de 500 mL.
- Se procedió a llenar el recipiente con la muestra (pozo, tanque y chorros)
- Se identifico cada muestra con nombre del lugar, fecha, hora.
- Se procedió a transportar las muestras en hieleras con sus respectivos enfriadores.

c. Técnica para Coliformes totales, fecales y *E. coli*.

El método de fermentación de tubos múltiples de número más probable (NMP) es considerado como estándar para la determinación del grupo coliforme. Se utilizo la técnica de fermentación de tubo múltiple (NMP) para todas las muestras.

Se prepararon 15 tubos por muestra:

- 1) 5 tubos se prepararon a una concentración doble (CD) y los otros 10 a una concentración simple (CS).
- 2) Se utilizaron 10 mL de caldo LMX y 10 mL de muestra de agua. (CD)
- 3) Se utilizaron 9 mL de caldo LMX y 1 mL de muestra (CS).
- 4) Se utilizaron 9,9 mL de caldo LMX y 0.1 mL de muestra
- 5) Se incubaron todos los tubos a $36\pm 1^{\circ}\text{C}$ por 18-24 horas.

(Harlin, 2020)

Interpretación

- 1) Positivo para coliformes totales: viraje de color amarillo a verde o azul verdoso
- 2) Positivo para *E. coli*: fluorescencia con luz ultravioleta
- 3) Negativo para coliformes totales: no hay cambios de color en el medio, por lo tanto, no son detectables las bacterias.

Según la Norma COGUANOR 29001 en el Límite Máximo Permisible, para Coliformes totales y *E. coli* no deben de ser detectables en 100 mL de Agua. (ver tabla 1, en la página 10); Por lo tanto la concentración <1.8 NMP/100 mL es análogo al no detectable en 100 mL, establecido por la norma COGUANOR NTG 29001, 2013.

d. Técnica para el análisis fisicoquímico y organolépticos.

Para esta técnica se analizaron los parámetros que recomienda la norma COGUANOR 29001. Los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles se indican en las tablas 2 y 3.

Físicas y organolépticas:

✓ Color:

- 1) Llenar una cubeta especial para el espectrofotómetro con agua desmineralizada para el blanco hasta la altura de la marca indicada.
- 2) Llenar otra cubeta con agua de la muestra
- 3) Colocar la cubeta de blanco en el espectrofotómetro y presionar “zero”.
- 4) Colocar la cubeta de muestra en el espectrofotómetro y presionar “leer”.

El resultado se reporta como unidades de platino cobalto Ptco.

La Lectura va de 5 a 500 unidades.

✓ Olor

- 1) Solo se abanica la muestra para poder olerla, reportar si es rechazable o no rechazable.

✓ Turbiedad

- 1) Llenar la cubeta con la muestra de agua hasta la altura de la marca.
- 2) Colocar la cubeta dentro del turbidímetro.
- 3) Leer la turbidez tres veces consecutivas y sacar el promedio de las mediciones.

Los resultados se reportan en Unidades Nefelométricas de Turbidez, UNT.

✓ Conductividad eléctrica:

- 1) Introducir el medidor dentro de la muestra por unos segundos.
- 2) Anotar la lectura.

El resultado se reporta en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

✓ Potencial de hidrogeno

- 1) Colocar la muestra en un beaker de 100mL
- 2) Medir el pH introduciendo el electrodo en la muestra con cuidado de que no toque las paredes del beaker y utilizando una agitación moderada.
- 3) Esperar a que se estabilice la lectura y anotar el resultado.

Los resultados se reportan en unidades de pH.

✓ Solidos totales disueltos.

- 1) Introducir el medidor dentro de la muestra de agua por unos segundos.

- 2) Anotar la lectura

Químicas:

- ✓ Dureza total:
 - 1) Llenar el tubo de ensayo hasta el borde con la muestra.
 - 2) Verter la muestra en el recipiente de vidrio para mezclar.
 - 3) Agregar una cucharada rasa de reactivo para Dureza UniVer.
 - 4) Agregar gota a gota la solución tituladora EDTA y agitar circularmente, cuando el color de la muestra cambia de rosado a azul, anotar el número de gotas que se han agregado.
- ✓ La dureza total se reporta como mg CaCO_3/L , multiplicando el número de gotas por el factor 500.

Esta se analizó utilizando métodos basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Nota: Los LMA y LPM se indican en las tablas 2 y 3 descritas en las páginas 12 y 15 específicamente, para mayor entendimiento de la interpretación de resultados fisicoquímicos y organolépticos.

7. Diseño y técnica de la investigación

a. Numero de replicas y diseño de muestreo

Las muestras se recolectaron de la siguiente manera: 5 muestras del pozo y 32 muestras de las viviendas de la colonia Balcones III de San Cristóbal, del Municipio de Mixco, se realizó este proceso en época seca y el otro en época lluviosa, haciendo un total de 74 muestras.

Variables: de tipo binomial

Las variables de interés:

- ✓ Análisis microbiológico: las respuestas fueron operacionalizadas como positivo (crecimiento ≥ 1.8 NMP/1000mL) o negativo (< 1.8 NMP/100mL = no detectable en 100mL).
- ✓ Análisis fisicoquímico: las respuestas fueron operacionalizadas según cumplan los LMP de la norma COGUANOR 29001.

Muestreos según áreas:

- ✓ Pozo:

Este análisis pretendió determinar la calidad del agua de la fuente original, muestreando así, el punto de salida del pozo.

El número de muestras determinó si el agua cumple con los estándares de calidad o no, en este caso se establece si el evento es o no aleatorio:

Ho: $p = 0.50$

Ha: $p > 0.50$

Se tomaron como mínimo 5 muestras por día, para probar la hipótesis, la cual establece que el cumplimiento de la norma del agua que sale de los tanques es de más de 0.50 (evento no aleatorio), a un nivel de significancia de 0-05 (α).

Análisis: se realizó por medio de la prueba de hipótesis binomial, para cada variable en forma individual y en conjunto. Se contará el número de éxitos (calidad aceptable o cumplimiento) obtenidos en los 5 ensayos, lo que daría un valor $p=0.031$, suficiente para rechazar Ho a un nivel de significancia de 0.05

Viviendas:

Tipo de estudio: transversal

Estableciendo así la proporción de cumplimiento de los parámetros de calidad, estimándose dicha proporción en la población por medio del estudio de una muestra representativa.

Se requirió un mínimo de 32 viviendas para determinar la frecuencia o proporción de la calidad aceptable del agua que se recibe en ellas, con una confiabilidad del 95%, sobre una población aproximada de 300 viviendas, una frecuencia de calidad aceptable esperada de 90% y una precisión de 10%.

La selección de las viviendas se realizó con una fijación constante, es decir que se tomaron el mismo número de muestras por sector. En la colonia de Balcones III de San Cristóbal, se encuentran 4 sectores, por lo tanto, se tomarán 8 muestras por sector, seleccionando las mismas de forma aleatoria. (4 sectores; ver anexo 1).

Análisis: se estimará la proporción de cumplimiento de los criterios de calidad del agua que llega a las viviendas de las colonias, con un intervalo de confianza del 95%.

VII. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al analizar los parámetros bacteriológicos, fisicoquímicos y organolépticos en los diferentes puntos de muestreo durante la época seca y época lluviosa, en la colonia Balcones III de San Cristóbal, municipio de Mixco.

En la tabla 5 se presentan los resultados tanto de la época seca como la época lluviosa del pozo (5 en total) y de las casas por muestreo aleatorio (32 en total).

Los resultados obtenidos para el pozo y las casas en época seca como lluviosa indican el 100% de ausencia de Coliformes totales y *E. coli*. Por lo tanto, indica que el agua suministrada por la municipalidad a la Colonia Balcones III de San Cristóbal, cumple con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR 29001 2013, la cual establece que no debe ser detectable en 100 mL de agua.

Tabla 5. *Parámetros bacteriológicos evaluados en tanque y casas aleatorias de la colonia Balcones III de San Cristóbal, municipio de Mixco.*

Fuente	Época seca		Época lluviosa		Norma COGUANOR NTG 29001 LMP
	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E.coli</i> NMP/100 mL	Coliformes totales NMP/100 mL	<i>E.coli</i> NMP/100 mL	
Pozo mx1	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	No detectable en 100 mL
Pozo mx2	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Pozo mx3	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Pozo mx4	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Pozo mx5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 1	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 2	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 3	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 4	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 5	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 6	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 7	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 9	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 10	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 11	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 12	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 13	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 14	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 15	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 16	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 17	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 18	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 19	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 20	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 21	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 22	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 23	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 24	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 25	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 26	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 27	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 28	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 29	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 30	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 31	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	
Casa 32	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	

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

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

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

En la tabla 6 se muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos de la época seca del pozo (5 en total) y de las casas por muestreo aleatorio (32 en total), Mostrando que los resultados predominantes son con el color <5; el olor NR; el pH entre 6.40 a 6.90; la conductividad en 170; y la dureza es 102.6.

Tabla 6. *Parámetros fisicoquímicos evaluados en tanque y casas aleatorias de la colonia Balcones III de San Cristóbal, municipio de Mixco, en época seca.*

Fuente	Color PtCo.	Olor	pH	Turbiedad UNT	Conductividad Eléctrica µS/cm	Sólidos totales disueltos mg/L	Dureza total mg/L CaCO ₃
Pozo mx1	41	NR	6.95	0.28	170	8.5	119.7
Pozo mx2	<5	NR	6.95	0.27	170	8.5	102.6
Pozo mx3	15	NR	6.94	0.32	170	8.5	102.6
Pozo mx4	13	NR	7.49	0.65	170	8.5	102.6
Pozo mx5	<5	NR	6.93	0.60	180	9.0	102.6
Casa 1	<5	NR	7.8	0.95	180	9.0	119.7
Casa 2	<5	NR	6.99	0.5	180	9.0	102.6
Casa 3	<5	NR	7.04	0.35	170	8.5	102.6
Casa 4	<5	NR	7.00	0.34	170	8.5	119.7
Casa 5	<5	NR	6.94	0.70	170	8.5	119.7
Casa 6	<5	NR	6.93	0.38	170	8.5	119.7
Casa 7	<5	NR	6.95	0.23	170	8.5	102.6
Casa 8	<5	NR	6.63	0.73	170	8.5	119.7
Casa 9	<5	NR	6.67	0.28	170	8.5	102.6
Casa 10	<5	NR	6.78	0.38	170	8.5	102.6
Casa 11	<5	NR	6.78	0.38	170	8.5	102.6
Casa 12	<5	NR	6.36	0.28	180	9.0	102.6
Casa 13	<5	NR	6.30	0.50	170	8.5	102.6
Casa 14	<5	NR	6.33	0.36	170	8.5	102.6
Casa 15	<5	NR	6.45	0.29	170	8.5	102.6
Casa 16	<5	NR	7.27	0.72	170	8.5	102.6
Casa 17	<5	NR	7.05	0.33	160	8.0	102.6
Casa 18	<5	NR	6.94	0.39	160	8.0	102.6
Casa 19	<5	NR	6.75	0.42	180	9.0	102.6
Casa 20	<5	NR	6.63	0.56	170	8.5	102.6
Casa 21	<5	NR	6.65	0.22	170	8.5	102.6
Casa 22	<5	NR	6.58	0.40	170	8.5	102.6
Casa 23	<5	NR	7.46	0.46	170	8.5	102.6
Casa 24	<5	NR	7.30	0.45	170	8.5	102.6
Casa 25	<5	NR	7.25	0.50	170	8.5	102.6
Casa 26	<5	NR	6.70	0.96	170	8.5	102.6
Casa 27	<5	NR	6.71	0.80	170	8.5	102.6
Casa 28	<5	NR	6.76	0.44	170	8.5	102.6
Casa 29	<5	NR	6.76	0.51	170	8.5	102.3
Casa 30	<5	NR	7.11	0.64	180	9.0	102.6
Casa 31	<5	NR	6.77	0.66	180	9.0	102.6
Casa 32	<5	NR	6.72	0.61	180	9.0	102.6

NR= no rechazable; PtCo= unidades de platino cobalto; UNT= unidades nefelométricas de turbiedad; µS/cm= microSiemens por centímetro; mg/L CaCO₃= miligramo por litro de carbonato de calcio; mg/ L= miligramo por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio BQB, S.A.

En la tabla 7 se muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos de la época lluviosa del pozo (5 en total) y de las casas por muestreo aleatorio (32 en total). Mostrando que los resultados predominantes son con el color <5; el olor NR; el pH entre 6.40 a 6.90; la conductividad en 180; y la dureza es 102.6.

Tabla 7. *Parámetros fisicoquímicos evaluados en tanque y casas aleatorias de la colonia Balcones III de San Cristóbal, municipio de Mixco, en época lluviosa.*

Fuente	Color Ptco.	olor	pH	Turbiedad UNT	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sólidos totales disueltos mg/L	Dureza total mg/L CaCO_3
Pozo mx1	<5	NR	7.48	0.36	190	9.5	102.6
Pozo mx2	<5	NR	6.48	0.32	190	9.5	102.6
Pozo mx3	14	NR	7.12	0.19	180	9.0	102.6
Pozo mx4	<5	NR	6.39	0.27	180	9.0	102.6
Pozo mx5	<5	NR	7.90	0.26	180	9.0	85.5
Casa 1	<5	NR	6.99	0.36	200	10.0	102.6
Casa 2	<5	NR	6.73	0.89	190	9.5	119.1
Casa 3	<5	NR	6.66	0.45	180	9.0	102.6
Casa 4	<5	NR	6.78	0.26	200	10.0	85.5
Casa 5	<5	NR	6.42	0.20	180	9.0	102.6
Casa 6	<5	NR	6.38	0.28	180	9.0	102.6
Casa 7	<5	NR	6.43	0.33	180	9.0	102.6
Casa 8	<5	NR	6.36	0.20	180	9.0	102.6
Casa 9	13	NR	7.29	0.30	190	9.5	102.6
Casa 10	16	NR	6.88	0.38	200	10.0	102.6
Casa 11	<5	NR	6.90	0.35	180	9.0	102.6
Casa 12	<5	NR	6.72	0.22	180	9.0	102.6
Casa 13	<5	NR	6.76	0.35	180	9.0	102.6
Casa 14	<5	NR	7.45	0.20	190	9.5	102.6
Casa 15	<5	NR	6.85	0.27	180	9.0	102.6
Casa 16	<5	NR	6.83	0.29	180	9.0	102.6
Casa 17	<5	NR	6.85	0.27	180	9.0	102.6
Casa 18	<5	NR	6.83	0.29	180	9.0	102.6
Casa 19	<5	NR	6.78	0.27	180	9.0	102.6
Casa 20	<5	NR	6.49	0.23	190	9.5	102.6
Casa 21	24	NR	6.43	0.16	180	9.0	119.1
Casa 22	<5	NR	6.38	0.19	180	9.0	102.6
Casa 23	17	NR	6.36	0.25	180	9.0	102.6
Casa 24	<5	NR	6.93	0.15	200	10.0	102.6
Casa 25	<5	NR	6.89	0.20	190	9.5	102.6
Casa 26	<5	NR	6.70	0.24	190	9.5	102.6
Casa 27	<5	NR	6.67	0.21	180	9.0	85.5
Casa 28	<5	NR	7.55	0.24	200	10.0	102.6
Casa 29	<5	NR	7.22	0.17	180	9.0	119.1
Casa 30	<5	NR	7.15	0.19	180	9.0	102.6
Casa 31	<5	NR	6.96	0.22	190	9.5	102.6
Casa 32	<5	NR	6.78	0.21	180	8.5	102.6

NR= no rechazable; Ptco= unidades de platino cobalto; UNT= unidades nefelométricas de turbiedad; $\mu\text{S}/\text{cm}$ = microsiemens por centímetro; mg/L CaCO_3 = miligramo por litro de carbonato de calcio; mg/ L= miligramo por litro

Fuente: Datos experimentales obtenidos en Laboratorio BQB, S.A.

VIII. Discusión

En el presente estudio fueron evaluados los parámetros bacteriológicos, fisicoquímicos y organolépticos del agua suministrada por la municipalidad de Mixco a la colonia Balcones III, y se determinó el cumplimiento de algunos parámetros de la norma COGUANOR NTG 29001 2013, la cual indica Límites Máximos Aceptables (LMA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para cada parámetro evaluado.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), indica que la época seca abarca los primeros meses del año y la época lluviosa entre los meses de junio a julio y agosto a octubre por interrupción de la canícula que es donde disminuyes dichas lluvias (INSIVUMEH, 2023); debido a esto el muestreo se realizó en dos fases, una en época seca utilizando el mes de febrero del año 2023 y la otra en época lluviosa utilizando el mes de julio del año 2023. Se colectaron un total de 74 muestras (37 muestras en época seca y 37 muestras en época lluviosa).

Se llevo a cabo dicho estudio, realizando los análisis bacteriológicos de coliformes totales y *Escherichia coli*; así como también análisis fisicoquímicos y organolépticos de color olor conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno (pH), solidos totales disueltos (STD), turbiedad y dureza total.

Los resultados organolépticos de color y olor cumplieron con los LMP de norma COGUANOR NTG 29001 2013, como se puede observar en la tabla 6 y 7, debido a que todas las muestras son “no rechazables” para olor y color en su mayoría por >5 , por lo que las muestras no representan peligro de contaminación por olores extraños y contaminantes que afecten el color del agua. Con lo cual inferimos que el color turbio y mal olor del agua detectada por los vecinos proviene de una fuente no determinada en este estudio, pero se sabe que el mal olor y color del agua puede provenir de posibles contaminantes orgánicos e inorgánicos, como hierro, cloraminas, ácidos húmicos y fúlvicos, entre otros

(Moreno, 2020). El mal olor que detectan los consumidores puede deberse a los sulfuros de hidrogeno, el cual es característico a “olor a huevo podrido”, este se detecta cuando el agua se queda estancada en las tuberías, los niveles de estos encontrados en aguas de consumo humano no representan un problema para la salud. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Entre el análisis fisicoquímico especificando para el pH en donde la norma exige tener un LMP de 6.5 a 8.5 y todas las muestras que se analizaron están dentro del rango, por lo que el agua cumple con el LMA y el LMP, dando indicios de ausencia de contaminantes que alteren el pH.

Dentro de los análisis, la turbiedad de todas las muestras fue medida en UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad donde las muestras están por debajo de los limites indicados por la norma COGUANOR NTG 29001 2013 (LMA 100 UNT, LMP 500 UNT); en la conductividad eléctrica, o la capacidad en la que el agua transporta la energía eléctrica, la unidad de medida de este parámetro es de Siemens para la cual la norma COGUANOR NTG 29001 exige como LMA 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y LMP 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donde el total de las muestras están por debajo de estos límites por lo cual se dice que si cumple con dicho parámetro. Se realizó análisis de solidos totales disueltos (STD) donde según la norma COGUANOR 29001 exige como LMA 500 mg/mL y LMP 1000 mg/mL y en el análisis las muestras están por debajo de los limites indicados, cumpliendo con la norma (COGUANOR,2013).

En el parámetro de dureza total del agua fue medida como mg/L de CaCO_3 para lo que la norma COGUANOR NGT 29001 2013 nos indica que el LMA es de 100mg/L y LMP 500mg/L, en este parámetro las muestras están entre los limites mencionados, siendo el valor más alto 119mg/L, considerándose aguas duras. Esta característica es crítica para el mantenimiento de tuberías y líneas de distribución del agua provocando un acumulo de depósitos de calcio y por ende un taponamiento, pero es inocua para la salud (COGUANOR,2013). Otra manera en que las aguas duras afectan a la población debido a que la presencia de calcio

y magnesio pone en manifiesto la precipitación del jabón y por ende necesitan el uso de más jabón para lograr la limpieza adecuada; afectando tanto la estabilidad económica y operativa del consumidor, sin afectar otro parámetro del agua (Organización Mundial de la Salud, 2006).

El estudio demostró que la calidad del agua del tanque que abastece a la colonia de balcones III, como las casas muestreadas aleatoriamente, se encuentran en buen estado, tanto bacteriológico, físico, químico y organoléptico, estableciendo así que la municipalidad de Mixco proporciona agua que cumple con los LMA de los parámetros analizados, según la norma COGUANOR NTG 29001 2013.

No se pudo hacer una comparación con estudios anteriores del lugar debido a que no se encontraron antecedentes del mismo, pero haciendo una comparativa con estudios realizados en otros departamentos (ya descritos en antecedentes), los cuales reportaron que el agua suministrada a los mismos contenía valores por arriba del límite permisible, en cuanto al estudio bacteriológico, dando como resultado, aguas no aptas para consumo humano. Infiriendo así, que en la municipalidad de Mixco que abastece a Balcones III realizan un buen mantenimiento a las instalaciones, como un buen tratamiento al agua, para lograr el propósito de suministrar agua potable.

Con base a los resultados obtenidos en la tabla 5, en la cual se presentan los parámetros bacteriológicos analizados en la época seca como la época lluviosa, y según lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29001 2013, el agua potable debe estar libre de coliformes totales y *E.coli* (Comisión Guatemalteca de Normas, 2013) podemos constar que el agua del tanque y de las casas aleatorias analizadas de la colonia Balcones III de San Cristóbal, desde el punto de vista bacteriológico, se presentan concentraciones menores a 1.8 NMP/100 mL; indicando así que el agua cumple con los LMP establecidos en la norma COGUANOR 29001 (tabla1).

En las tablas 6 y 7 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y organolépticos analizados (color, olor, pH, turbiedad, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y dureza) los cuales se encuentran dentro del límite máximo permisible, según la norma COGUANOR NTG 29001 2013. Tanto en la época seca como en la época lluviosa no presentaron variaciones significativas y tampoco sobrepasan los rangos permisibles, indicando que el agua cumple los LMA de los parámetros analizados.

IX. Conclusiones

- 1) El agua distribuida por la municipalidad de Mixco a la colonia Balcones III, de San Cristóbal, cumplen con los parámetros bacteriológicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013 para el agua potable.
- 2) El agua distribuida por la municipalidad de mi Mixco a la colonia Balcones III, de San Cristóbal, cumplen con los parámetros fisicoquímicos y organolépticos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001 2013 para el agua potable.
- 3) El agua suministrada por la municipalidad de Mixco a la colonia Balcones III, de San Cristóbal, mantiene sus parámetros en buen estado, siguiendo la norma COGUANOR NTG 29001 2013 para el agua potable en ambas temporadas (seca y lluviosa).

X. Recomendaciones

- 1) Seguir realizando un estudio cada 2 años para mantener la confiabilidad del agua con los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos, según la norma COGUANOR NTG 29001 2013 para agua potable.
- 2) Realizar un estudio de contaminantes orgánicos e inorgánicos que puedan afectar el color y olor del agua, para descartar la causa de las quejas de los habitantes del lugar.

XI. BIBLIOGRAFIA

- Ayres GH. (1998) *Análisis Químico cuantitativo*. México: Harla
- Barahona, L. (2017). *Análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala*. (Tesis para grado de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) (2013). Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable).
- Guix, A. (2014) *Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en el municipio de Patzité del departamento de el Quiché*. Guatemala. (Tesis de graduación). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- INSIVUMEH. (2023). Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala. Recuperado de:
https://insivumeh.gob.gt/wpcontent/uploads/2021/02/Variabilidad_y_cambio_climatico.pdf
- FUNCAGUA. (2022) Informe del Estado del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala: El Agua nos Une. Recuperado de: <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2022/03/Informe-del-agua-2022-version-digital.pdf>
- Fundación Laudato SI. (2020). Investigación: Cooperación Internacional Ambiental. Recuperado de: <https://fundacionlaudatosi.es/cooperacion-internacional/>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Recuperada de:
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

Organización Mundial de la Salud. (2022) Agua para consumo humano.

Recuperada de:

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fièvre%20tifoidea%20y%20la%20poliomiélitis.>

Guzmán, B., Nava, G. y Díaz, P. (2015) *La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012*. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/pdf/843/84340725018.pdf>

Google Maps (2021) Balcones III de San Cristóbal. Recuperado de:

<https://www.google.com/maps/place/Balcones+de+San+Crist%C3%B3bal,+Cdad.+de+Guatemala/@14.5727576,-90.5964358,16z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8589a0a5623247a1:0x40595369d6980c2e!8m2!3d14.5749763!4d-90.5931862>

Hach (2000) *Manual de Análisis de Agua*. Segunda edición. Recuperado de:

<https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>

Hach (2022) *Guía de microbiología: Método del número más probable*. Recuperado

de <https://www.support.hach.com/myhach/s/article/KA-en-US-TE8844-1020234>

Harlin, C. (2020) *Determinación de Coliformes totales fecales mediante la técnica de tubos múltiples*. Facultad de Bioquímica y Farmacia. Universidad del Valle.

Recuperado de: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-privada-del-valle/microbiologia-de-alimentos/recuento-de-coliformes-fecales-mediante-tecnica-de-tubos-multiples/9722001>

Manual Spectroquant NOVA 60 (1999). MERCK. Fecha de emisión 2/99

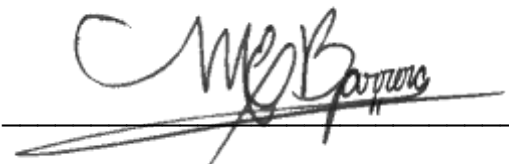
Molina, M. (2009). *Evaluación de la calidad fisicoquímica de el agua de la planta municipal que abastece al Departamento de Zacapa, Municipio de Zacapa*. (Tesis para grado de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Morales, A. (2018), Determinación de la Calidad Del Agua Potable Distribuida Por la Municipalidad al Área Urbana del Municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos, Guatemala. (*Tesis de graduación*). Facultad de Ingeniería. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Morales, R., Olier, J., Cano, T. y Vergara, B. (2019) *El agua*. Recuperado de: <http://site.curn.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/287>
- Moreno, N. (2020) ¿Por qué el agua que sale del grifo de su casa tiene mal olor y un color amarillento? Recuperada de: <https://labcontrol.pro/por-que-el-agua-que-sale-del-grifo-de-su-casa-tiene-mal-olor-y-un-color-amarillento/>
- Municipalidad de Mixco (2018) *Conoce la Zona 8 de Mixco*. Recuperado de: <https://www.munimixco.gob.gt/wp-content/uploads/2018/02/ZONA-8.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2006) *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Primer Apéndice da la tercera Edición.
- Pensamiento, J. (2011) *Determinación del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, departamento del progreso*. (Tesis para grado de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala
- Ricón, A. (2015) *El agua: Recurso Vital*. Recuperada de: https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimI_vall/OK_El_agua_recurso_vital_OEI.pdf
- Roldan, A. (2006). *Determinación de la calidad Físico-Química y Bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa*. (Tesis para grado de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.

Salamanca, E. (2016) *Tratamiento de Aguas para el Consumo Humano*. Módulo Arquitectura CUC. Recuperado de: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2488/Tratamiento%20de%20aguas%20para%20el%20consumo%20humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valdivielso, A. (2021) *Tipos de Contaminantes del agua*. Recuperado de: <https://www.iagua.es/respuestas/tipos-contaminantes-agua>

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. (Tesis de graduación). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.



Br. Maria Elena Barrera Garzaro

Autor

XII. ANEXOS

ANEXO 1

Balcones III de Ciudad San Cristóbal, Mixco,

Detallado por lotificaciones



Fuente: Junta Directiva de Balcones II y III



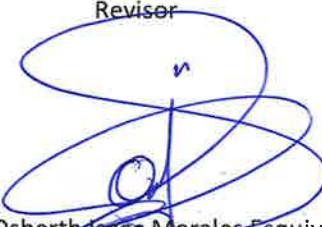
María Elena Barrera Garzaro
Autor



MSc. Sergio Alfredo Lickes
Asesor



Licda. Claudia Mata Asifuina
Revisor



MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel
Director
Escuela Química Biológica



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino
Decano en funciones
Facultad Ciencias Químicas y Farmacia

