



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

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA QUE SE DISTRIBUYE
EN EL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA BARAHONA, SACATEPÉQUEZ**

Kevin Adonias Otzin Ordoñez

Químico Farmacéutico

Guatemala, Abril 2023



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

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA QUE SE DISTRIBUYE
EN EL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA BARAHONA, SACATEPÉQUEZ**

Informe de Tesis

Presentado por:
Kevin Adonias Otzin Ordoñez

Para optar al título de:
Químico Farmacéutica

Guatemala, Abril 2023

JUNTA DIRECTIVA

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

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS** Por siempre cuidar de mí, darme sabiduría y fuerza para cumplir esta meta en mi vida, gracias Dios, toda la gloria sea para ti.
- A MI MADRE** Marilena Ordoñez por su amor y apoyo incondicional, sus oraciones, sacrificios, cuidados y consejos son invaluable, gracias mamá por siempre estar.
- A MI PADRE** Jaime Otzin por su apoyo y consejos.
- A MI HERMANO** Denilson Otzin por su apoyo y compañía en momentos difíciles.
- A MI HERMANA** Guicel Otzin por su apoyo.
- A MIS ABUELAS** Abuelita Chela (Israelita Diaz) QDEP por su cariño y cuidados durante mi niñez.
Abuela Raquel Lopez por sus consejos. QDEP
- A MIS ABUELOS** Abuelito Yaco (Ciriaco Otzin) QDEP por ser un ejemplo de trabajo y lucha, una inspiración para no rendirme nunca a pesar de las situaciones adversas.
Abuelo Carlos Ordoñez por sus cuidados y consejos.

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** Por sus bendiciones, fidelidad y sabiduría.
- A MIS PADRES** Por su amor, apoyo y los sacrificios que han hecho por darme la oportunidad de estudiar, son un ejemplo para mí.
- A MIS HERMANOS** Por su apoyo y compañía en momentos difíciles.
- A MIS TIOS** Por sus consejos y apoyo.
- A MIS AMIGOS** Por motivarme y brindarme su apoyo en todo momento.
- A MI ASESORA** Licda. Julia Amparo García Bolaños por su paciencia, guía y el tiempo brindado.
- A MI REVISOR** Lic. Estuardo Serrano por el tiempo brindado para poder revisar mi trabajo de investigación.
- A LA USAC** Por brindarme la oportunidad de poder optar a estudios superiores, especialmente a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia por permitirme formarme profesionalmente.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES	3
1. EL AGUA.....	4
2. TIPOS DE AGUA	6
2.1. Agua cruda o en estado natural (sin tratamiento):	6
2.2. Aguas residuales	7
2.3. Agua tratada (agua potable).....	8
3. COMPOSICIONES DE LAS AGUAS NATURALES.....	9
3.1. Gases	9
3.2. Sustancias inorgánicas	9
3.3. Sustancias orgánicas	10
3.4. Procesos Físicoquímicos que influyen en la composición de las aguas.....	12
4. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA	13
4.1. Análisis físico y organoléptico.....	16
4.1.1. Color	16
4.1.2. Olor	17
4.1.3. Turbiedad.....	17
4.1.4. Conductividad eléctrica	18
4.1.5. Potencial de hidrógeno (pH).....	18
4.1.6. Sólidos totales disueltos	19
4.1.7. Temperatura	20
4.2. Análisis Químico	21
4.2.1. Cloro residual libre.....	21
4.2.2. Cloruro.....	22
4.2.3. Dureza total	22
4.2.4. Sulfato	22
4.2.5. Aluminio.....	23
4.2.6. Calcio.....	24
4.2.7. Cinc.....	24
4.2.8. Cobre.....	25
4.2.9. Magnesio.....	25

4.2.10.	Manganeso Total	25
4.2.11.	Hierro total	26
4.2.12.	Arsénico	27
4.2.13.	Bario.....	27
4.2.14.	Boro	28
4.2.15.	Cadmio	28
4.2.16.	Cianuro.....	28
4.2.17.	Cromo total	29
4.2.18.	Fluoruro.....	29
4.2.19.	Mercurio total.....	30
4.2.20.	Plomo.....	30
4.2.21.	Selenio.....	31
4.2.22.	Nitrato y nitrito	31
5.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	33
5.1.	Bacterias coliformes	34
5.2.	Condiciones de Muestreo.....	35
6.	MARCO LEGAL DEL AGUA EN GUATEMALA.....	36
7.	PROCESOS Y MÉTODOS DE PURIFICACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.	39
8.	GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA BARAHONA.....	41
9.	INVESTIGACIONES PREVIAS NACIONALES.....	42
10.	INVESTIGACIONES PREVIAS REGIONALES.....	43
11.	JUSTIFICACIÓN	44
12.	OBJETIVOS.....	45
12.1.	Objetivo General	45
12.2.	Objetivos Específicos.....	45
13.	HIPÓTESIS	45
14.	MATERIALES Y MÉTODOS	45
14.1.	Metodología.....	45
14.2.	Materiales	45
15.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	48
15.1.	Población y Muestra.....	48
15.2.	Análisis contemplados y limitados en el presente informe.....	48

15.3.	Análisis de resultados	49
16.	RESULTADOS	50
17.	DISCUSIÓN	72
18.	CONCLUSIONES	83
19.	RECOMENDACIONES	84
20.	REFERENCIAS	85
21.	ANEXOS	90

RESUMEN

Se realizó el Análisis Físicoquímico y Microbiológico del Agua que se distribuye en el municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez. Para esta investigación se recolectaron un total de 22 muestras de agua, las cuales fueron tomadas de los nacimientos, tanques de distribución y puntos finales de los circuitos de distribución, 11 de estas muestras fueron recolectadas en época seca y 11 en época lluviosa. Los resultados obtenidos mostraron que todas las muestras recolectadas cumplen con los parámetros físicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29001, que es la norma de referencia del país para determinar si el agua es apta para consumo humano. Así mismo, todas las muestras recolectadas no cumplen con los parámetros microbiológicos establecidos en la norma COGUANOR NTG 29001, por lo que se concluyó que el agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez, no es apta para consumo humano.

INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos naturales esenciales en la vida diaria de los seres humanos es el agua. Muchas personas no tienen acceso a la misma y otras la tienen de forma limitada. Al tener acceso a éste recurso también se debe de garantizar que este no presente microorganismos o sustancias que puedan ser dañinas para el que lo consume. Es por esta razón que es importante realizar los análisis correspondientes para que se garantice que el agua que se suministra a los hogares de las personas sea apta para consumo humano. De no ser así se pone en riesgo la salud, con consecuencias que podrían costar hasta la vida de las personas de una comunidad.

El propósito de esta investigación es analizar el agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona y en base a los resultados de estos análisis, dictaminar si cumplen con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29001 "Agua para consumo humano". Actualmente se realizó un proyecto municipal en el cual se modificó la infraestructura de captación de agua de los manantiales, los tanques de distribución y la red de tuberías. Ante este cambio es importante determinar si el agua es apta para consumo humano y de no ser así poder advertir a las autoridades, basándose en los resultados obtenidos las acciones y medidas correspondientes para evitar el riesgo a la salud.

ANTECEDENTES

El agua es uno de los elementos vitales para cualquier forma de vida en nuestro planeta. Los estudios acerca del agua han revelado que el 97% pertenece al mar y es salada, el 2% se encuentra en los polos, en forma de hielo y solamente el 1% se considera agua aprovechable o agua dulce, presente en los ríos, lagos y corrientes subterráneas. El agua puede ser considerada como un recurso renovable, cuando se controla cuidadosamente su uso. De lo contrario es un recurso no renovable, limitado por las cantidades que se mueven en el sistema natural; sin embargo, se ha considerado como inagotable, por lo que su uso ha generado acciones irresponsables por parte de la población. Es importante considerar que el agua es un recurso finito y no siempre dispondremos de ella. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017)

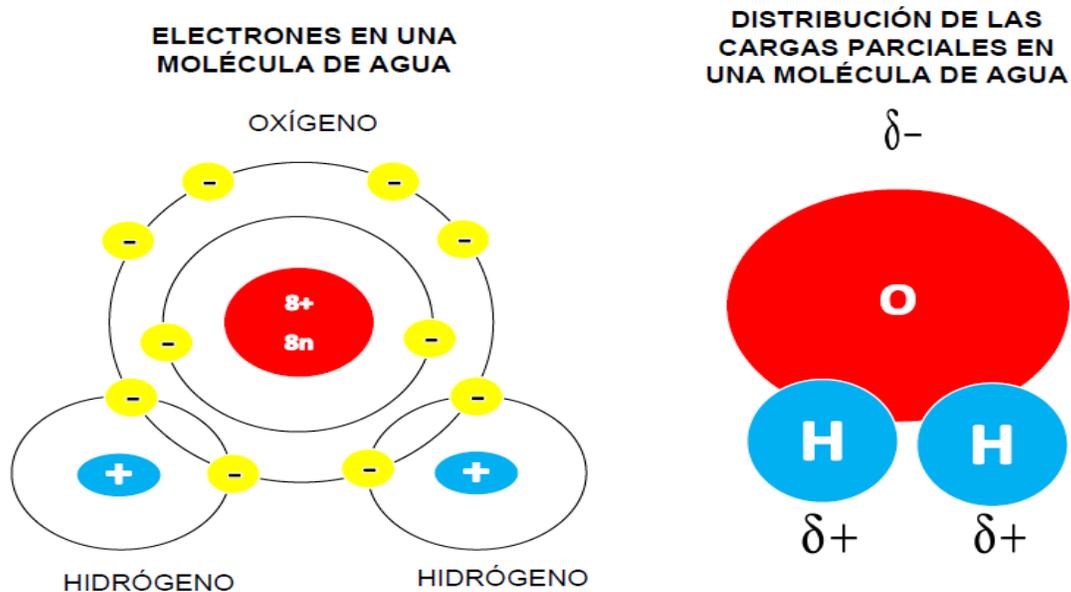
Guatemala cuenta con una Política Nacional de Aguas desde el año 2011, ya que considera a este recurso un elemento central para el desarrollo nacional (Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia, 2011). También cuenta con distintas normativas entre las que destaca la norma COGUANOR NTG 29001 “Agua para consumo humano”, la cual tiene como objetivo establecer los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.

En el marco de la actual pandemia con el SARS-CoV-2, una de las principales medidas preventivas de esta enfermedad respiratoria es el lavado de manos con agua y jabón, para lo cual el acceso continuo a los servicios de agua potable resulta fundamental, si se pretende evitar el contagio por medio del contacto persona a persona, mediante las manos y la higiene personal. En este sentido, las coberturas con calidad y continuidad de los servicios de agua, podrían marcar la diferencia de la propagación del virus entre las comunidades y naciones (SANAA, 2020).

1. EL AGUA

El agua es un compuesto que se encuentra en estado líquido en condiciones ambientales normales (20°C y 1 atm). Su estructura molecular contiene dos átomos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O). Los átomos de hidrógeno están unidos al oxígeno a través de un par de electrones de enlace. El oxígeno también tiene dos pares de electrones no enlazantes. De esta forma existen cuatro pares de electrones rodeando al átomo de oxígeno: dos formando enlaces covalentes con los átomos de hidrógeno y dos pares compartidos en el lado opuesto (Imagen No. 1). (Gobierno de Mendoza, 2016)

Imagen No. 1 Distribución electrónica de la molécula del agua.



Fuente: Autor Propio

Debido a que en la molécula del agua existe una distribución irregular de la densidad electrónica, se considera como una molécula bipolar, esto como resultado de que los ángulos de enlaces de H⁺ son de 105°. Por esta razón, el agua posee una carga parcial negativa cerca del átomo de oxígeno y una carga parcial positiva cerca de los átomos de

hidrógeno. Esta es una de las causas principales de sus propiedades físicas y de su comportamiento químico. La habilidad de los iones y otras moléculas para disolverse en el agua se debe a la polaridad de ésta última. (Gobierno de Mendoza, 2016)

Su calor específico es elevado lo que conlleva la absorción de grandes cantidades de calor con pequeñas variaciones de la temperatura lo que permite la regulación de ésta en la Tierra. Tiene mayor densidad en estado líquido que en estado sólido, es decir, se expande al solidificar alcanzando el máximo valor a 4°C aproximadamente. Este dato, que podría ser una nimiedad, es muy importante ya que el hielo sólido flota sobre el agua líquida y, además, a partir de un cierto espesor actúa como aislante impidiendo la congelación total de la masa de agua (los ríos se convertirían en glaciares) y la muerte de los seres vivos, que se congelarían. Desde el punto de vista químico, el agua debería ser un gas a temperatura ambiente; esto no es así por la presencia de enlaces de puentes de hidrógeno. Otras propiedades que se pueden mencionar del agua son: elevada conductividad térmica, fuerte poder ionizante, elevada constante dieléctrica (aislante), gran poder disolvente y finalmente la propiedad de producir la disociación electrolítica y la hidrólisis. El agua es la única sustancia que se encuentra sobre la Tierra en los tres estados y es el componente mayoritario de los seres vivos, en los que juega un papel fundamental. Las propiedades anteriores, unidas a su abundancia y distribución, hacen del agua el compuesto más importante de la superficie terrestre. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2016)

El agua es un compuesto esencial para la vida, sin esta no sería posible la misma. Se utiliza en la alimentación de los seres vivos, en la agricultura, en la industria, etc. El agua es el medio en el que se producen la mayoría de las reacciones físicas químicas y bioquímicas que son fundamentales para la vida. El volumen del agua presente en los seres humanos depende de la edad y del tipo de tejido. El contenido de ésta es superior en el hombre que en la mujer y el promedio está en torno al 65%. Este volumen de agua

sirve para transportar sustancias y como regulador de temperatura corporal. El aporte diario de agua ha de ser de unos dos litros para compensar la pérdida por la orina, a través de la piel por sudoración, en el intercambio respiratorio y por el intestino.

El principal factor de riesgo para numerosas intoxicaciones e infecciones es el intercambio fisiológico del agua, siempre que ésta se encuentre alterada, mediante contaminación, en sus parámetros físicos, químicos o biológicos. Dependiendo del uso que se vaya a hacer, es de máximo interés controlar analíticamente la calidad del agua. Pequeños cambios en la presencia de algunas sustancias pueden variar sensiblemente las propiedades del agua, hacerlas inservibles y hasta peligrosas para la salud. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2016)

2. TIPOS DE AGUA

2.1. Agua cruda o en estado natural (sin tratamiento):

El agua cruda es aquella que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural, se encuentra en el ambiente como la lluvia, el océano, de forma superficial y subterránea. La fuente del recurso hídrico del cual una comunidad se abastece depende de la posición geográfica, origen (mar, subterránea, superficial) y hábitos de los pobladores. Las aguas superficiales están constituidas por quebradas, ríos, lagos, embalses, etc. Según su origen, los ríos que nacen cerca de zonas mineras son generalmente aguas ácidas y los ríos montañosos tienen agua con temperaturas más bajas que los que recorren el valle. Fenómenos naturales como la erosión arrastran sedimentos que hacen variar la calidad del agua de los ríos y quebradas. (Sierra, 2011). Un artículo publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en el año 2021 respecto a la situación del agua en Guatemala, menciona que la disponibilidad del agua es del doble del promedio mundial (33.417 litros/habitante/día). Esto podría parecer una situación favorable, pero hay que añadir que la distribución espacial y temporal hace que en algunas zonas del país existe

mayor cantidad que en otras y que en la estación seca se reduce el volumen del recurso. También solamente el 5% de las aguas residuales son tratadas y al ser devueltas a los ríos y otros cuerpos de agua los contaminan. A esto hay que añadir que la variación del clima y el incremento de la población se reducirá su disponibilidad. Por último, es importante tener en cuenta que en el país el 41% de los hogares carece de un sistema de distribución de agua potable y que el 55% no están conectados a la red de drenajes. (Martínez, 2021).

Las aguas subterráneas a comparación de las aguas superficiales, son más claras y más mineralizadas. Son más claras porque no reciben la misma cantidad de contaminantes que se vierten a las superficiales, y además, al infiltrarse en el terreno gran parte del material suspendido queda retenido en el suelo. Las aguas subterráneas son más mineralizadas porque tienen un gran poder para disolver los estratos del suelo, principalmente aquellos terrenos ricos en hierro y manganeso. (Sierra, 2011). Un artículo publicado por Prensa Libre en el año 2,017 menciona que en la Ciudad de Guatemala la Empresa Municipal de Agua registra 215 mil servicios en el área metropolitana, los cuales son abastecidos por medio de 100 pozos. En este mismo artículo se hace énfasis en los altos niveles de contaminación presentes en las aguas del país, incluso con metales pesados, hacen que el 95% del agua que se produce en Guatemala sea inutilizable. (Marroquín, 2017).

2.2. Aguas residuales

Según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 se define como Aguas Residuales a aquellas aguas que han recibido uso y cuyas cualidades han sido modificadas. En este acuerdo gubernativo se distinguen dos tipos de aguas residuales: de tipo especial y de tipo ordinario. La primera se define como aquellas aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicio, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas. La segunda se define como aquellas aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales

como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado. (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)

2.3. Agua tratada (agua potable)

Es el agua que ha cambiado o variado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarla en algún uso benéfico. (Sierra, 2011). El agua potable es normalmente garantizada por las autoridades y los poblados son esencialmente dependientes de la existencia de la misma. Existen normativas de calidad que se deben cumplir para el agua potable en todos los países y ésta no puede provenir de cualquier fuente. La definición legal de agua potable consiste en proporcionar una lista de especificaciones y asociarlos con un nivel tolerable. Desde el punto de vista práctico, la cantidad de sustancias seleccionadas debe ser limitada. En las legislaciones de los diferentes países se consideran entre 80 y 130 compuestos sintéticos tóxicos, a pesar de que se sabe que el número de compuestos sintéticos que el hombre maneja es mayor que 70,000, y para muchos de ellos se desconoce la toxicidad. De esta manera, aún cuando un agua pueda cumplir con las normas de potabilización no se puede asegurar que no exista algún otro contaminante. (Fernández, 2012). Un artículo publicado en el año 2020 por el periódico La Vanguardia se presenta una investigación que expone sobre un problema reciente, respecto a la contaminación del agua y del medio ambiente en general, así como sus potenciales efectos en la salud del ser humano por parte de las microplásticos y nanoplásticos. Los científicos definen microplásticos como fragmentos de plástico de menos de 5 mm de diámetro y a los nanoplásticos con diámetros inferiores a 0.0001 mm. Estudios anteriores habían demostrado que los plásticos podían atravesar el tracto gastrointestinal humano, pero estudios recientes detectaron docenas de tipos de

componentes plásticos dentro de tejidos humanos, tales como el bisfenol A (BPA), el policarbonato (PC), el polietileno tereftalato (PET) y el polietileno (PE). (Palou, 2020)

3. COMPOSICIONES DE LAS AGUAS NATURALES

La composición del agua natural depende de muchos factores, tales como el tipo de agua (subterránea, marina, atmosférica), de su localización geográfica, de la estación del año que se considere, de la influencia antropogénica, etc. (Doménech, 2000).

Principales especies químicas presentes en las aguas naturales

3.1. Gases

Los gases más abundantes son los provenientes de la disolución de gases atmosféricos (CO_2 , N_2 y O_2 principalmente), los producidos por la actividad de los seres vivos (CO_2 y O_2) y los originados por la descomposición, aerobia o anaerobia, de los mismos (CO_2 , CH_4 , H_2S , N_2) (Orozco et al., 2003).

3.2. Sustancias inorgánicas

Los iones que se presentan en mayor concentración provienen:

- De la disolución y meteorización de los materiales de la corteza terrestre, contándose entre los más abundantes los cationes Calcio (Ca^{2+}), Sodio (Na^+), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+), Hierro (Fe^{2+}), etc. (algunos de estos metales pueden estar en forma de especies complejas –compuestos de coordinación- con ligandos naturales orgánicos como ácidos húmicos, o inorgánicos como Cloro (Cl^-), Hidroxido (OH^-) etc. y los aniones Bicarbonato (HCO_3^-), Cloro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Fosfato (PO_4^{3-}), Flúor (F^-), Nitrato (NO_3^-).
- De iones presentes en el agua de lluvia, como el Oxonio (H_3O^+) y el Bicarbonato (HCO_3^-).

- De los procesos de descomposición de los seres vivos: Sulfato (SO_4^{2-}), Fosfato (PO_4^{3-}), Nitrato (NO_3^-), Amonio (NH_4^+), acetato (CH_3COO^-)

(Orozco et al., 2003)

Los principales constituyentes inorgánicos presentes en las aguas naturales se muestran en la tabla No.1 clasificados según su concentración y la forma química en la que se encuentran, a excepción de los constituyentes minoritarios y traza, para los que solamente se especifica su símbolo químico (Doménech, 2000).

Tabla No.1. Constituyentes inorgánicos en las aguas naturales:

Especies mayoritarias (1-1000 ppm)	Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-
Especies secundarias (0.1-10 ppm)	Fe^{2+}, Fe^{3+}, Sr^{2+}, K^+, CO_3^{2-}, NO_3^-, F^-, H_3BO_3
Especies traza (<10-3 ppm)	Be, Bi, Cs, Au, Pt, Ra, Ag, Sn

Fuente: Doménech, 2000

3.3. Sustancias orgánicas

En cuanto a la materia orgánica disuelta presente en el agua y procedente de fuentes naturales, deben destacarse las especies provenientes de seres vivos, tales como aminoácidos, hidratos de carbono, ácidos grasos, alcoholes, terpenos, pigmentos naturales, etc., y en suspensión o estado coloidal las sustancias húmicas y fúlvicas, que constituyen la materia orgánica de los suelos, junto a otras macromoléculas orgánicas de origen natural, como proteínas y polisacáridos (Orozco et al., 2003).

Los compuestos orgánicos presentes en las aguas naturales provienen de los procesos metabólicos llevados a cabo por organismos autótrofos. Estos organismos sintetizan estos compuestos a partir de especies inorgánicas sencillas. Así mismo, la descomposición de

la biomasa genera compuestos orgánicos. Como resultado de todo ello, se incorporan al agua una variada gama de compuestos orgánicos, como por ejemplo hidratos de carbono, ácidos carboxílicos, aminoácidos, aminas, polipéptidos, fenoles, ácidos grasos, etc. (Doménech, 2000).

Estos compuestos orgánicos sufren transformaciones químicas que dan lugar, o bien a productos de degradación más simples que los originales o bien a compuestos de condensación más resistentes a la biodegradación. Estos últimos pueden formar partículas coloidales que se mantienen en suspensión en el medio acuoso (Doménech, 2000).

La concentración a la que se suele encontrar la materia orgánica en las aguas naturales es, algunas decenas de ppm. En realidad, la concentración es muy variable, dependiendo del tipo de reservorio que se considere, del entorno natural y de la estación del año (Doménech, 2000).

Los compuestos fenólicos son las sustancias orgánicas comúnmente más abundantes en el medio hídrico. Pueden distinguirse compuestos monoméricos –mono y polihidroxifenólicos, generados como producto de transformaciones metabólicas de compuestos aromáticos y poliméricos, como los taninos y ligninas. Otra fracción importante de materia orgánica disuelta o en estado coloidal corresponde a las sustancias húmicas. Estos compuestos son polielectrolitos, es decir, polímeros con grupos iónicos o ionizables en las cadenas, que contienen fundamentalmente grupos hidroxilo y carboxilo. (Doménech, 2000).

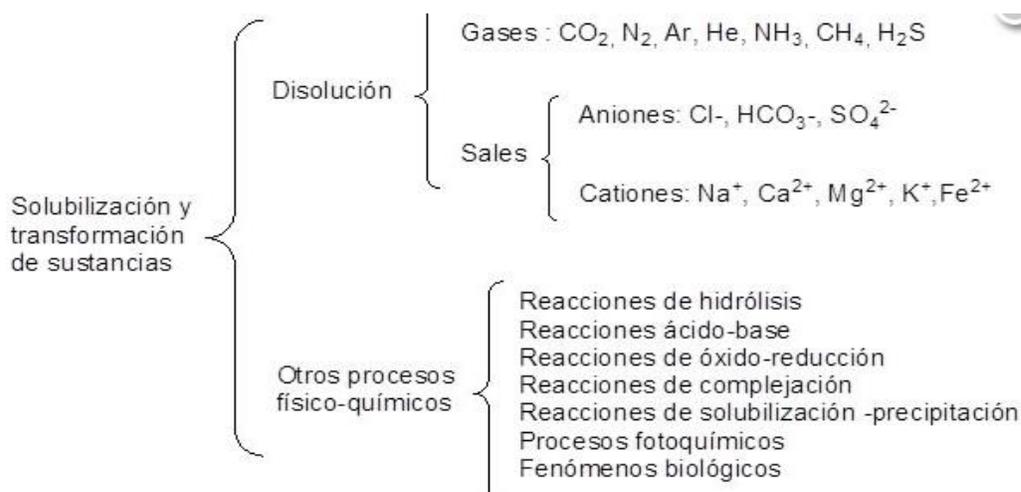
En las aguas naturales la fracción húmica comprende entre el 5 y el 75% de toda la materia orgánica disuelta y proviene, básicamente, de la percolación del agua a través del suelo. La materia húmica causa una degradación de las propiedades organolépticas del agua, dando lugar a una coloración entre amarilla y marrón, cuya intensidad aumenta al aumentar

el pH del medio. Los dos componentes principales del humus, fácilmente separables mediante procesos de hidrólisis, son los ácidos húmicos y fúlvicos. Estos componentes se diferencian entre ellos por su composición empírica y en el número de grupos ácido en sus cadenas. Así, los ácidos húmicos, son más ricos en carbono y más pobres en oxígeno que los ácidos fúlvicos, mientras que éstos contienen más grupos ácido que aquellos (Doménech, 2000).

3.4. Procesos Físicoquímicos que influyen en la composición de las aguas

Se puede resumir la posibilidad de incorporación de sustancias al agua según se puede observar en la imagen No. 2, el cual señala los tipos de procesos y reacciones en los que participa la propia agua o algunas de las especies existentes en el seno de la misma. También se indica la naturaleza de algunas de las sustancias que con más frecuencia aparecen en las aguas (Orozco et al., 2003):

Imagen No. 2 Procesos físicoquímicos que influyen en la composición de las aguas



Fuente: Orozco et al, 2003

4. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA

La selección de parámetros o variables para evaluar la calidad del agua depende básicamente de los objetivos relacionados con su uso. La selección apropiada de los parámetros permite alcanzar las metas de eficiencia en los procesos de mejoramiento de la calidad del agua. Cada parámetro debe ser discutido, con respecto a sus orígenes, fuentes, comportamiento, transporte y transformación en el sistema acuático. El proceso de fijar estos criterios se desarrolla a través de experimentos científicos. Un criterio de calidad del agua puede estar basado en la morbilidad o toxicidad crónica de varias sustancias para el hombre o la vida acuática, o también puede estar relacionado con los métodos técnicos para remover sustancias específicas del agua. (Leyva, 2001)

Existe un buen número de parámetros ambientales que se usan como indicadores de calidad del agua, entre otros: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, turbidez, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y metales pesados (Leyva, 2001). En el caso de Guatemala la normativa COGUANOR NTG 29001 es la encargada de especificar los parámetros mínimos y máximos permitidos para el agua de consumo humano, que es a lo que se enfoca esta investigación.

Para mejorar y proteger la salud pública puede ser preciso establecer diferentes prioridades de gestión para parámetros diferentes. Por lo general se establece el orden de prioridad siguiente:

- Garantizar un suministro adecuado de agua microbiológicamente inocua y mantener su aceptabilidad para disuadir a los consumidores de consumir agua potencialmente menos segura desde el punto de vista microbiológico.

- Controlar los principales contaminantes químicos reconocidos como causantes de efectos adversos para la salud.
- Gestionar otros contaminantes químicos.

(Organización Mundial de la Salud, 2006)

Para determinar las propiedades han de tenerse en cuenta las fuentes de información siguientes, entre otras: el tipo de cuenca de captación (con o sin protección), la geología, la topografía, el uso agrícola de las tierras, las actividades industriales, los estudios sanitarios, los registros de monitoreos anteriores, las inspecciones y los conocimientos locales y comunitarios. Cuanto más amplia sea la gama de fuentes de información utilizadas, más útiles serán los resultados del proceso. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

El riesgo para la salud más común y extendido asociado al agua de consumo es la contaminación microbiana, cuyas consecuencias son tales que su control debe ser siempre un objetivo de importancia primordial. La contaminación microbiana de los grandes sistemas de abastecimiento urbano puede causar grandes brotes de enfermedades transmitidas por el agua, por lo que garantizar la calidad del agua en dichos sistemas es prioritario. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

No todas las sustancias químicas para las que se han establecido valores de referencia estarán presentes en todos los sistemas de abastecimiento de agua, si lo están, es posible que sus concentraciones no sean preocupantes. Se deben de dar prioridad a las sustancias químicas que constituyan un riesgo para la salud de las personas o bien que afecten de forma significativa a la aceptabilidad del agua. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

Son pocas las sustancias químicas de las que se haya comprobado que causan efectos extendidos sobre la salud de las personas como consecuencia de la exposición a cantidades excesivas de las mismas en al agua de consumo. Entre ellas se incluyen el

fluoruro, el arsénico y el nitrato. También se han comprobado en algunas zonas, efectos sobre la salud de las personas asociadas al plomo (procedente de las instalaciones de fontanería domésticas), el hierro y el manganeso generan preocupación generalizada debido a sus efectos sobre la aceptabilidad del agua, y deben tenerse en cuenta en cualquier procedimiento de fijación de prioridades. (Organización Mundial de la Salud, 2006).

En las siguientes tablas se muestran los parámetros establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29001 para el agua de consumo humano, que es la norma vigente en Guatemala:

Tabla No. 2 Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	36,0 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 ^(d)
Potencial de hidrógeno	7.0-7.5	6.5-8.5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto

(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)

(describe la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión, precipitados químicos, partículas orgánicas y organismos.)

(c) En unidades de pH

(d) Límites establecidos a una temperatura 25 °C

LMA: Límite Máximo Aceptable. LMP: Límite Máximo Permisible.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001 (2013)

4.1. Análisis físico y organoléptico

4.1.1. Color

El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes o suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. (Marín, 2010).

El color visible del agua es el resultado de diferentes longitudes de onda de la luz no absorbidas por el agua y que tienen que ver con las sustancias particuladas presentes. Es posible medir tanto el color aparente como el verdadero: las aguas contienen sustancias minerales naturales, como minerales de hierro, y sustancias orgánicas, como el ácido húmico, que le confieren el color verdadero al agua; el color verdadero sólo puede ser medido en muestras después de filtración o centrifugación. El color aparente es causado

por partículas coloreadas y la refracción y reflexión de la luz sobre las partículas suspendidas. Las aguas contaminadas pueden tener un color aparente intenso. (Leyva, 2001)

El color puede ser medido por la comparación de muestras de agua con una serie de diluciones de una solución de cloroplatino de potasio y cloruro cobaltoso. Las unidades se denominan platino cobalto y están basadas en una concentración de 1 mg Pt/L. (Leyva, 2001)

4.1.2. Olor

La percepción del olor constituye una apreciación de carácter subjetivo. El olor raramente es indicativo de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero si puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica. Por ello, en el caso de agua potable, no debería apreciarse olor alguno. (Marín, 2010). Las temperaturas cálidas incrementan la producción de olor causada por los productos metabólicos, así como el pH que puede afectar la tasa de reacciones químicas. El olor puede ser medido en términos de la máxima dilución de una muestra, a la cual definitivamente el olor es perceptible, por métodos como el número umbral de olor y por el índice de intensidad de olor. (Leyva, 2001)

4.1.3. Turbiedad

Expresada generalmente como Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), describe la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión, precipitados químicos, partículas orgánicas y organismos. La turbidez puede ser causada por la mala calidad del agua de la fuente, el tratamiento deficiente y, en los sistemas de distribución, por la alteración de sedimentos y biopelículas o el ingreso de agua sucia a través de roturas de tuberías principales y otras fallas. El aumento de turbidez reduce la claridad del agua al limitar la transmisión de la luz. Debajo de 4 UNT, la turbidez se puede detectar solo con

instrumentos, pero con 4 UNT o más, puede verse una suspensión de color blanco lechoso, barroso, rojo-marrón o negra. Los grandes sistemas de agua municipales deben producir consistentemente agua sin turbidez visible. (World Health Organization, 2011).

La turbidez visible reduce la aceptabilidad del agua potable. Si bien la mayoría de las partículas que contribuyen a la turbidez no tienen importancia para la salud (aunque pueden indicar la presencia de contaminantes químicos microbianos peligrosos), muchos consumidores asocian la turbidez con la seguridad y consideran que el agua turbia no es segura para beber. (World Health Organization, 2011)

4.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica, que es una medida de la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica, depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia, concentración relativa y temperatura de medición. La conductividad eléctrica se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e indica el contenido de sales disueltas o de minerales en el agua (mineralización). Los intervalos de conductividad eléctrica de las aguas superficiales varían de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero pueden exceder los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, especialmente en aguas superficiales que reciben una gran cantidad de aguas residuales contaminadas. La conductividad está relacionada con las zonas de contaminación alrededor de la descarga de un afluente y su seguimiento puede ser utilizado para estimar la extensión de la influencia del mismo; los valores asumidos por esta variable determinan el uso potencial del agua, debido a que el efecto de las actividades domésticas e industriales modifican los valores naturales de la conductividad. (Leyva, 2001)

4.1.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de protones: $\text{pH} = \log 1/[\text{H}^+]$ = - $\log [\text{H}^+]$. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones

químicas y biológicas, más sin embargo, no suelen afectar directamente a los consumidores. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas, por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes y formación de precipitados. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2016)

El pH del agua que entra en el sistema de distribución debe controlarse para minimizar la corrosión del sistema de tuberías de las instalaciones domésticas. Si no se logra minimizar la corrosión, puede provocar la contaminación del agua de uso y consumo humano y dar lugar a efectos adversos sobre su sabor y aspecto. El pH óptimo requerido variaría en distintos sistemas de abastecimiento de acuerdo con la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero suele oscilar entre 6.5 y 8. (World Health Organization, 2011).

4.1.6. Sólidos totales disueltos

Es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua y proporciona una indicación general de la calidad química. Analíticamente es definido como residuo filtrable total en mg/L. Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Los principales cationes son calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2016). El agua con una concentración de sólidos totales disueltos menor que 600 mg/L suele considerarse aceptable, pero a concentraciones mayores a aproximadamente 1000 mg/L, la aceptabilidad del sabor del agua de consumo humano disminuye significativa y progresivamente. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones de sólidos totales disueltos debido a que genera excesivas incrustaciones en tuberías, calentadores, calderas y electrodomésticos. (World Health Organization, 2011).

4.1.7. Temperatura

Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como microbiológicas. (Marín, 2010). Por lo general el agua fría tiene un sabor más agradable que el agua tibia, y la temperatura repercutirá en la aceptabilidad de algunos otros componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar el sabor. La temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede incrementar los problemas de sabor, olor, color y corrosión. (World Health Organization, 2011).

Tabla No. 3 Características químicas que debe tener el agua para consumo humano

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl⁻)	100,0	250,0
Dureza total (CaCO₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO₄⁻)	100,00	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 LMP* porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo, el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA**.**

*LMA: Límite Máximo Aceptable. **LMP: Límite Máximo Permisible.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001 (2013)

4.2. Análisis Químico

4.2.1. Cloro residual libre

Es el parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración. (Norma COGUANOR NTG 29001). El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que cuando se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a las personas. El cloro se consume a medida que los organismos se destruyen, si se añade suficiente cloro, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos y a esto se le llama cloro libre, el cual permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación. Por esta razón, si se analiza el agua y se encuentra que todavía existe

cloro libre en ella, se comprueba que la mayoría de los organismos peligrosos ya fueron eliminados del agua y, por lo tanto, es seguro consumirla. (Organización Panamericana de la Salud, 2009).

4.2.2. Cloruro

El cloruro entra en las aguas superficiales por medio de la deposición atmosférica de los aerosoles oceánicos, a partir de la meteorización de las rocas sedimentarias, efluentes industriales, aguas domésticas y por la escorrentía de las zonas agrícolas. (Leyva, 2001). Las concentraciones excesivas de cloruro aumentan la tasa de corrosión de los metales en los sistemas de distribución, aunque variará en función de la alcalinidad del agua. Esto puede aumentar la concentración de metales en el agua. Las concentraciones de cloruro que excedan de unos 250 mg/L pueden conferir al agua un sabor perceptible. (World Health Organization, 2011).

4.2.3. Dureza total

El término dureza se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos que hay en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} es normalmente mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos, la dureza es prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones. La dureza por lo general se expresa como el número equivalente de miligramos de carbonato de calcio (CaCO_3) por litro. Un agua de dureza inferior a 60 mg/L de CaCO_3 se considera blanda. Si la dureza es superior a 270 mg/L de CaCO_3 , el agua se considera dura. (Universidad Complutense de Madrid, 2009)

4.2.4. Sulfato

El sulfato se encuentra presente en forma natural en las aguas superficiales, proviene del lavado de los compuestos minerales azufrados, de las rocas sedimentarias, como el yeso y la piritita, y de la deposición atmosférica. El sulfato es la forma más estable del azufre y es

fácilmente soluble en agua, las descargas industriales y la precipitación atmosférica pueden agregar cantidades significativas de sulfatos a las aguas superficiales. Los sulfatos pueden ser usados como fuente de oxígeno por bacterias, que los convierten en sulfuro de hidrógeno en condiciones anaeróbicas. (Leyva, 2001). La presencia de sulfato en el agua de uso y consumo humano puede generar un sabor perceptible, en niveles muy altos podría provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. Por lo general se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor a 250 mg/L. (World Health Organization, 2011).

4.2.5. Aluminio

El aluminio es el elemento metálico más abundante y constituye alrededor del 8% de la corteza terrestre. Las sales de aluminio se utilizan ampliamente en el tratamiento del agua como coagulantes para reducir el color, la turbiedad, el contenido de materia orgánica y el nivel de microorganismos. Esto puede incrementar la concentración de aluminio en el agua tratada; una concentración residual alta puede conferir al agua color y turbiedad no deseables. La presencia de aluminio en concentraciones mayores a 0.1-0.2 mg/L suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del flóculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de minimizar la presencia de residuos de aluminio en el sistema de distribución. En buenas condiciones de funcionamiento, puede alcanzarse, en muchas circunstancias, concentraciones de aluminio menores a 0.1 mg/L. Hay escasos indicios de que la ingestión de aluminio por la vía oral produzca toxicidad aguda en el ser humano, a pesar de la amplia presencia del elemento en alimentos, agua de consumo humano y numerosos antiácidos. Se ha sugerido la hipótesis de que la exposición al aluminio es un factor de riesgo para el

desarrollo o la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. (World Health Organization, 2011).

4.2.6. Calcio

Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud. El ion calcio forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO_3Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 mg/L, el agua de mar alrededor de 400 mg/L. (Organización Panamericana de la Salud, 2012)

4.2.7. Cinc

El cinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. El cinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos. Los desagües de industrias químicas que manufacturan productos de cinc u otros metales, desagües domésticos y flujos provenientes de terrenos que contienen cinc pueden descargar cinc a corrientes de agua. La mayor parte del cinc en lagos y ríos se deposita en el fondo, sin embargo, una pequeña cantidad puede permanecer disuelta en el agua o suspendida en forma de partículas finas. La cantidad de cinc disuelta en el agua puede aumentar a medida que la acidez del agua aumenta. El agua puede contener altos niveles de cinc si se mantienen en envases metálicos o fluyen a través de cañerías que han sido revestidas con cinc para evitar la corrosión. La ingestión de dosis muy altas de cinc, aún durante un periodo breve, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. La ingestión de niveles altos de cinc durante varios meses puede producir anemia, daño en el páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2005)

4.2.8. Cobre

El cobre es un nutriente esencial y al mismo tiempo un contaminante del agua de consumo humano. En ocasiones se añade sulfato de cobre pentahidratado a las aguas superficiales para el control de algas. La fuente más frecuente es la que se produce por la corrosión interior de las tuberías de cobre. Las concentraciones de cobre en el agua tratada suelen aumentar durante la distribución, sobre todo en sistemas con pH ácido o en aguas con concentraciones altas de carbonato y pH alcalino. Cuando la concentración de cobre es mayor de 1 mg/L, el agua mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. En concentraciones por encima de 2.5 mg/L, el cobre confiere un sabor amargo no deseado al agua y en concentraciones mayores afecta también el color del agua. (WHO, 2004)

4.2.9. Magnesio

El ion magnesio tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 mg/L. El agua de mar contiene alrededor de 1,300 mg/L. Su aparición en el agua potable con una concentración alta provoca un sabor amargo y efectos laxantes. Contribuye a la dureza del agua y a pH alcalino, además de formar incrustaciones de hidróxido. (Organización Panamericana de la Salud, 2012)

4.2.10. Manganeseo Total

La presencia de manganeso a concentraciones mayores a 0.1 mg/L en sistemas de abastecimiento de agua puede producir un sabor indeseable, menores a 0.1 mg/L suelen ser aceptables para los consumidores. La presencia de manganeso en el agua puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución, concentraciones de 0.2 mg/L de manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías que pueden

desprenderse en forma de precipitado negro. (World Health Organization, 2011). El consumo en cantidades elevadas de manganeso, mayores a 14 mg/L pueden provocar daños en el cerebro. (Marín, 2010)

4.2.11. Hierro total

El hierro presente en agua proviene de disolución de rocas y minerales, en general, el hierro se encuentra en forma trivalente en las aguas naturales superficiales, variando su concentración típicamente entre 0.01 mg/L y 0.30 mg/L, no superándose estos niveles ya que a valores de pH cercanos a la neutralidad se produce la precipitación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que es la sal más común en medios hídricos oxigenados. La ingestión de elevadas cantidades de hierro puede provocar necrosis en varios tejidos humanos. (Marín, 2010)

Tabla No. 4 Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN⁻)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Fluoruro (F⁻)	1,50
Mercurio total (Hg)	0,001

Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO₃⁻)	50,0
Nitrito (NO₂⁻)	3,0

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001 (2013)

4.2.12. Arsénico

El arsénico es un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre en estado de oxidación -3,0, +3 y +5, a menudo en forma de sulfuro de arsénico, de arseniuros metálicos o arseniatos. En el agua se presenta más como +5, pero en condiciones anaerobias es posible que esté presente como arsenito +3. (World Health Organization, 2011). El arsénico accede al agua por disolución de sus sales y de sus complejos orgánicos procedentes de emisiones volcánicas, vertidos industriales metalúrgicos, insecticidas o de refinado de metales. Las concentraciones de arsénico en aguas naturales suelen ser menores a 0.010 mg/L, pero en aguas subterráneas pueden llegar a valores más elevados. En zonas del mundo volcánicas o con agriculturas intensivas se incrementan los niveles medidos. (Marín, 2010)

4.2.13. Bario

El bario es un oligoelemento presente en las rocas ígneas y sedimentarias. Sus compuestos tienen una gran diversidad de aplicaciones industriales, pero el bario presente en el agua proviene de fuentes naturales. La concentración en el agua de consumo generalmente es inferior a 0.1 mg/L, aunque en agua de consumo procedente de aguas subterráneas se han registrado concentraciones superiores a 1 mg/L. (Organización Mundial de la Salud, 2006).

4.2.14. Boro

El boro se encuentra en forma natural en aguas subterráneas principalmente por el lixiviado de rocas y suelos que contienen boratos y borosilicatos. El contenido de boro en aguas superficiales puede aumentar debido a descargas de aguas residuales. (World Health Organization, 2011). El boro es muy empleado por el hombre en la formulación de detergentes, desde donde accede al medio acuático, así como el empleo de pesticidas, barnices y pinturas boradas. Las aguas naturales no contaminadas presentan bajos niveles de boro (entre 0.01 mg/L y 0.05 mg/L), (Marín, 2010)

4.2.15. Cadmio

El cadmio es un metal que se utiliza en la industria del acero y en los plásticos. Los compuestos de cadmio son componentes muy utilizados en pilas eléctricas. El cadmio se libera a menudo al medio ambiente a través de las aguas residuales, los fertilizantes y la contaminación aérea local. Las impurezas de cinc de las soldaduras, las tuberías galvanizadas y algunos accesorios de fontanería metálicos también pueden contaminar el agua de consumo. Las concentraciones en el agua de consumo suelen ser menores que 0.001 mg/L. (Organización Mundial de la Salud, 2006).

4.2.16. Cianuro

Los cianuros se encuentran ocasionalmente en el agua de consumo humano a muy bajas concentraciones. Cuando se producen grandes derrames de cianuro, asociados a la industria, pueden dar lugar a concentraciones muy altas en fuentes de agua de consumo humano, especialmente en aguas superficiales. El cianuro es altamente tóxico, la exposición a dosis elevada puede dar lugar a toxicidad tiroidea. (World Health Organization, 2011).

4.2.17. Cromo total

El cromo es un elemento que se encuentra naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe combinación con otros elementos para formar varios compuestos. El cromo puede ser encontrado en el agua después de ser liberado por industrias como las involucradas en el curtido de cuero, producción de textiles y en la manufactura de productos en base a cromo. Las concentraciones totales de cromo en aguas naturales no contaminadas no suelen superar los 0.025 mg/L; no obstante, estos niveles pueden incrementarse en aguas con valores de pH inferiores a 6.0, así como en aguas de dureza elevada. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2012)

4.2.18. Fluoruro

El flúor es un elemento común ampliamente distribuido en la corteza terrestre y existe en forma de fluoruros en diversos minerales, como el espato flúor, criolita y fluoropatita. En muchas aguas hay trazas de fluoruros, pero las concentraciones más altas suelen asociarse a las aguas subterráneas. En algunas áreas ricas en minerales que contienen fluoruro, el agua de pozo puede contener hasta aproximadamente 10 mg de fluoruro por litro. El fluoruro se usa ampliamente en preparaciones dentales para combatir la caries dental, especialmente en áreas con alto consumo de azúcar. En algunos países, el fluoruro también se puede añadir a la sal de mesa o al agua de consumo humano, con el fin de proporcionar protección contra la caries dental. Las cantidades añadidas al agua de consumo humano son tales que las concentraciones finales están en el rango de 0.5 a 1 mg/L. El fluoruro en el agua final siempre está presente como iones fluoruro, ya sea su origen de fuentes naturales o de la fluoración artificial. (World Health Organization, 2011).

4.2.19. Mercurio total

Se trata de un elemento muy tóxico para las personas, su ingestión puede provocar daños renales y en el sistema nervioso central si la dosis es alta, los síntomas son dolor de vientre, vómitos y diarrea. (Organización Panamericana de la Salud, 2012). El mercurio se puede clasificar en tres tipos: mercurio metálico, mercurio inorgánico y mercurio orgánico. El mercurio accede a las aguas a través de emisiones volcánicas y sobre todo ligado a efluentes residuales procedentes de la producción de cementos, fabricación de baterías y algunos pesticidas. Se ha demostrado que el mercurio inorgánico se metila en agua dulce y en agua de mar, pero se considera que casi todo el mercurio del agua de consumo humano no contaminada está como Hg^{2+} ; por lo tanto, no es probable que haya riesgo directo de consumo de compuestos orgánicos de mercurio, los cuales son neurotóxicos. (World Health Organization, 2011).

4.2.20. Plomo

Este metal es muy empleado por el hombre como aditivo de combustibles, fabricación de baterías, pinturas, aislantes de radiaciones ionizantes y en formulaciones de pesticidas, si bien su uso está en continuo descenso debido a su incremento en el ambiente. En aguas naturales no contaminadas el contenido de plomo disuelto no suele superar los 0.01 mg/L. El plomo se ha usado históricamente en la elaboración de tuberías de conducción de agua potable, debido a su inercia química, circunstancia que ha posibilitado que el contenido de este elemento en algunas aguas potables de carácter ácido y baja salinidad se haya incrementado hasta los 2 mg/L. El plomo provoca la conocida enfermedad de Saturnismo, caracterizada por la acumulación del metal en los huesos y especialmente en los nervios, sistema renal e hígado. El Saturnismo causa anemia, parálisis, dolores de cabeza y alteraciones enzimáticas en los tejidos adiposos en donde preferentemente se aloja. (Marín, 2010)

4.2.21. Selenio

El selenio está presente en la corteza terrestre, generalmente en asociación con minerales que contienen azufre. La mayor parte del agua de consumo humano contiene concentraciones de selenio que son muy inferiores a 0.01 mg/L, excepto en ciertas áreas seleníferas. Los síntomas en las personas con altos niveles de selenio en la orina incluyen trastornos gastrointestinales, decoloración de la piel, dientes cariados, pérdida de cabello o uñas y cambios en los nervios periféricos. (World Health Organization, 2011).

4.2.22. Nitrato y nitrito

Nitrato

Los nitratos son compuestos presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En concreto es la forma estable de este ciclo. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. En aguas de superficie no contaminadas no suelen superar los 10 mg/L, pero en aguas subterráneas contaminadas por abonados pueden superar ampliamente los 50 mg/L. (Organización Panamericana de la Salud, 2012)

Nitritos

Son un estado intermedio de oxidación entre el amonio y los nitratos. En aguas superficiales su concentración no suele superar los 0.100 mg/L, siendo mucho más abundantes en ríos contaminados por aguas residuales urbanas y/o industriales. (Marín, 2010). El nitrito también puede formarse químicamente en las tuberías de distribución por

la bacteria *Nitrosomonas* durante el estancamiento en tuberías de acero galvanizado de agua potable que contiene nitratos y es pobre en oxígeno, o si se usa cloramina para proporcionar un desinfectante residual. (World Health Organization, 2011).

El exceso de amoníaco libre que ingresa al sistema de distribución puede conducir a la nitrificación y al aumento potencial de nitrato y nitrito en el agua potable. En los seres humanos, la metahemoglobinemia es una consecuencia de la reacción del nitrito con la hemoglobina de los glóbulos rojos para formar metahemoglobina, que se una al oxígeno estrechamente y no lo libera, bloqueando así el transporte de oxígeno. Aunque la mayoría de nitrito absorbido se oxida a nitrato en la sangre, el nitrito residual puede reaccionar con la hemoglobina. (World Health Organization, 2011).

Tabla No. 5 Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua.

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

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001 (2013)

5. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Las enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus y parásitos patógenos son el riesgo para la salud más común y extendido asociado al agua de consumo humano. La falta de seguridad en el abastecimiento de agua, ya sea en la fuente, en el tratamiento o en la distribución, pueden generar contaminación a gran escala y posiblemente cause brotes de enfermedades detectables. Los organismos patógenos transmitidos por el agua tienen varias propiedades que los distinguen de otros contaminantes del agua de consumo humano entre las que podemos mencionar las siguientes:

- Los agentes patógenos pueden causar efectos agudos y también crónicos sobre la salud.
- Algunos agentes patógenos pueden proliferar en el ambiente.
- Los organismos patógenos se encuentran en número discreto en el ambiente.
- Los organismos patógenos a menudo se agregan o se adhieren a los sólidos suspendidos en el agua y sus concentraciones varían con el tiempo, de modo que la probabilidad de ingerir una dosis infecciosa no se puede predecir a partir de su concentración medida en el agua.
- La exposición a un agente patógeno que ocasiona una enfermedad depende de la dosis, de la invasión y la virulencia del organismo patógeno, así como del estado inmunológico de la persona.
- Si se establece la infección, los patógenos se multiplican en su huésped.
- Ciertos organismos patógenos del agua también se multiplican en los alimentos, las bebidas o los sistemas de agua caliente, lo que perpetúa o incluso aumenta la probabilidad de infección.

- A diferencia de muchos agentes químicos, los agentes patógenos no tienen un efecto acumulativo.

(World Health Organization, 2011)

Las bacterias patógenas de transmisión hídrica provienen de seres humanos y de animales de sangre caliente (animales domésticos, ganado y animales silvestres). Estos agentes microbianos llegan a los cursos de agua a través de las descargas de plantas de procesamiento de carne de ganado y de aves, escorrentías que pasan por los corrales de ganado. En las zonas rurales la práctica de la defecación a campo abierto también constituye una fuente de contaminación de las aguas superficiales. (CEPIS-OPS, 2004)

Las bacterias patógenas que tienen un alto significado para la salud son la *Vibrio cholerae*, la *Escherichia coli* enteropatógena, la *Salmonella typhi*, la *Shingella*, el *Campylobacter jejune* y la *Yersinia enterocolitica*, entre otras. Estas bacterias se transmiten por vía oral, la mayoría tiene un tiempo de persistencia en el agua que va de corto a moderado, baja resistencia al cloro y una dosis infectiva alta. Se ha demostrado que, en algunas bacterias como la *Salmonella*, el reservorio animal cumple un papel importante. También se sabe que la mayoría de bacterias patógenas no se multiplican en el ambiente, pero algunas, como el *Vibrio cholerae*, pueden multiplicarse en aguas naturales. (CEPIS-OPS, 2004)

5.1. Bacterias coliformes

Las bacterias coliformes habitan el tracto intestinal de mamíferos y aves, y se caracterizan por su capacidad de fermentar lactosa a 35 °C. Los géneros que se componen este grupo con *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwarsiella*. Todas pueden existir como saprofitas independientes o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es solo fecal. Esto ha llevado a distinguir entre coliformes totales (grupo que incluye a todos los coliformes de cualquier origen) y coliformes

fecales (término que designa a los coliformes de origen exclusivamente intestinal) con capacidad de fermentar lactosa también a 44.5°. La existencia de una contaminación microbiológica de origen fecal se restringe a la presencia de coliformes fecales, mientras que la presencia de coliformes totales que desarrollan a 35 °C, sólo indica existencia de contaminación, sin asegurar su origen. Los enterococos fecales cuyo desarrollo ocurre a 35 °C se usan como indicadores complementarios de contaminación fecal. (Apella, M., Araujo, P., 2005)

El análisis cuantitativo de bacterias indicadoras de contaminación en una muestra de agua puede realizarse por dos metodologías diferentes:

- Recuento directo de microorganismos cultivables por siembra de la muestra sobre o en un medio de cultivo agar.
- Recuento indirecto (basado en cálculos estadísticos) después se sembrará diluciones seriadas en la muestra en medios de cultivos líquidos específicos. Se considera, al cabo de una incubación adecuada, los números de cultivos < positivos > y < negativos >. Esta metodología se denomina “Técnica de los tubos múltiples” y los resultados se expresan como número más probable (NMP) de microorganismos.

(Apella, M., Araujo, P., 2005)

5.2. Condiciones de Muestreo

El objetivo del muestreo es recolectar una porción de material, que provea un volumen que permita el transporte y análisis del analito; de manera que proporcione los datos de una población. Las muestras se presentan en el laboratorio para determinaciones específicas, donde quien toma la muestra es responsable de recolectar una muestra válida y representativa. Se debe muestrear cuidadosamente para asegurar que los resultados analíticos representen la composición de la muestra. Se debe crear un registro de cada

muestra recolectada, identificando cada recipiente con un número único de muestra, rotulándolo adecuadamente. (Norma COGUANOR NTG 29006)

Las muestras especificadas en la norma COGUANOR NTG 29006, que es la que rige actualmente en el territorio nacional, son de tipo puntual que se toman en un punto y lugar específico, en un periodo corto de tiempo, generalmente segundos o minutos. Estas muestras representan una instantánea en tiempo y espacio del área de muestreo y se deben tomar en un lugar, profundidad y tiempo determinado. Las fuentes naturales pueden necesitar muestreos durante varios meses debido a las variaciones estacionales. (Norma COGUANOR NTG 29006).

Posterior a la toma de las muestras, deben de llevarse al centro de análisis en un periodo que no debe exceder las 24 horas, las mismas deben de transportarse en cadena de frío a una temperatura entre 2°C y 8°C en hieleras con baterías o hielo. (Laboratorio Nacional de Salud, 2015)

6. MARCO LEGAL DEL AGUA EN GUATEMALA

La responsabilidad de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento siempre han estado bajo los gobiernos municipales. En lo que corresponde al ordenamiento institucional del sector, ha existido falta de claridad cuando se definen las funciones de construcción, rectoría y regulación de dichos servicios. En 1997 se encarga al Instituto de Fomento Municipal (INFOM) la gestión de políticas y estrategias del Sector Agua Potable y Saneamiento, así como implementación y ejecución de las acciones que de ellas se deriven. (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2013). Esta asignación se establece en el Acuerdo Gubernativo 376-97 del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) que en sus primeros dos artículos indica:

- Artículo 1. Encargar al Instituto de Fomento Municipal (INFOM), la gestión de las Políticas y Estrategias del Sector Agua Potable y Saneamiento, así como la implementación y ejecución de las acciones que de ellas se derive. La administración del uso del agua para otros fines, continuará siendo de la competencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Artículo 2. Las instituciones del Estado, fondos de inversión social, las instituciones descentralizadas y entidades privadas que realicen programas o proyectos de obras y servicios públicos de agua potable y saneamiento en el país, deberán coordinar sus acciones con el Instituto de Fomento Municipal para canalizar la asistencia técnica y financiera, efectiva y eficiente.

(Argueta, 2013)

La constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 127, sobre el régimen de aguas, establece que “todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia.”. Sin embargo, esta ley específica sigue sin existir, esto provoca que diversos aspectos relacionados con la administración del agua sean incluidos en las atribuciones y actividades de los Ministerios de Estado y entes descentralizados y autónomos, vistos como responsables de un sector usuario, prestador de un servicio o responsable de actividades de conservación. (Argueta, 2013)

El estado regula ciertos aspectos relativos a la propiedad, las servidumbres, el uso, aprovechamiento y protección del agua, pero no incorpora al sistema jurídico nacional una ley específica, como lo dispone la Constitución Política. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales dirige las políticas de conservación, protección y mejoramiento de los

recursos naturales, así como el manejo de agua en relación a la contaminación; el Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Vivienda otorga facultades para los canales de navegación y dragado de río; el Ministerio de Energía y Minas tiene asignado el fomento al uso de fuentes renovables de energía y aprovechamiento racional para alcanzar la autosuficiencia energética; el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social tiene entre sus competencias, vigilar la calidad del agua potable y el saneamiento; el Ministerio de Gobernación se encarga de la regulación y control de los servicios públicos de navegación; y al Municipio le compete prestar y regular el servicio de agua potable y saneamiento. (Argueta, 2013)

Para desarrollar las actividades de normalización se crea la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) que se encuentra adscrita al Ministerio de Economía y es parte del Sistema Nacional de Calidad (Decreto 1523 ratificado por Decreto legislativo 78-2005). La norma guatemalteca para determinar la calidad del agua actualmente es la COGUANOR NGO 29001:99 para el agua potable, sin embargo, esta Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO), como se establece en el Decreto 1523, queda a observancia voluntaria y como Norma Técnica Guatemalteca (NTG) en el Decreto 78-2005.* Además de la norma mencionada, COGUANOR, a través de comités técnicos, ha elaborado una serie de normas para la realización de determinados ensayos para el agua. (Argueta, 2013)

Es importante destacar el involucramiento de las autoridades municipales en lo que respecta a las competencias sobre la gestión y control de los servicios de agua y saneamiento. La normativa vigente, mediante el Código Municipal, atribuye a los municipios la facultad de regular y prestar los servicios de agua y saneamiento en su jurisdicción territorial y se le otorga la competencia para establecer tales servicios, mantenerlos, ampliarlos y mejorarlos, garantizando su funcionamiento eficaz, seguro y continuo y, en su caso, la determinación y cobro de tasas y contribuciones equitativas y justas. Asimismo, se agrega las tasas y contribuciones, que deben ser fijadas atendiendo

*De conformidad a la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Organización Mundial del Comercio (OMC), las normas técnicas son de carácter voluntario, sin embargo, a nivel nacional se consideraban obligatorias, por lo que fue modificada.

los costos de operación, mantenimiento y mejoramiento de la calidad y cobertura de los servicios. (Lentini, 2010)

El Código de Salud fija los lineamientos relacionados con la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento. Establece que el Ministerio de Salud en coordinación con el Instituto de Fomento Municipal y otras instituciones del sector, impulsará una política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable, saneamiento, tratamiento de aguas residuales, con énfasis en las gestiones de las propias comunidades para garantizar el manejo sostenible del recurso. (Lentini, 2010)

Este código confiere al Ministerio de Salud definir las normas vinculadas a la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua potable para consumo humano vigilando, en coordinación con las municipalidades y la comunidad organizada, la calidad del servicio y del agua de todos los abastos para uso humano. También se establece en el Código de Salud que las municipalidades y demás instituciones públicas o privadas encargadas del manejo y abastecimiento de agua potable, tienen la obligación de purificarla, en base a los métodos establecidos por el Ministerio de Salud, el cual brindará asistencia técnica a las municipalidades para su cumplimiento y la transgresión de la disposición conllevará sanciones. (Lentini, 2010)

El Código de Salud prevé un sistema de sanciones, tanto para los operadores de servicios como para los usuarios. Los prestadores pueden ser sancionados por:

- No purificar el agua abastecida.
- Poner en funcionamiento sistemas de abastecimiento de agua, sin certificado de potabilidad.
- Suspender el servicio salvo fuerza mayor, morosidad o consumo fraudulento.

- Impedir a funcionarios del Ministerio de Salud inspeccionar los sistemas de abasto.
- Descargar a las fuentes de agua, aguas residuales no tratados.

Al mismo tiempo los usuarios pueden ser sancionados por:

- Conectarse sin observar las normas reglamentarias
- Descargar a fuentes de agua contaminantes de origen industrial o agroindustrial.
- Construir sistemas privados de disposición de excretas sin observar normas.
- No conectarse a los servicios de agua potable y aguas residuales disponibles.

Las sanciones administrativas contempladas son multas y la clausura definitiva de establecimientos, incluyendo los servicios de agua que carecen de autorización sanitaria y del certificado de potabilidad. (Lentini, 2010)

7. PROCESOS Y MÉTODOS DE PURIFICACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

La purificación es la aplicación de procesos físicos, químicos o biológicos, y cualquier combinación de estos; con el objeto de lograr la extracción o neutralización selectiva de sustancias o microorganismos indeseable en el agua para consumo humano. Estos procesos y métodos están establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 1148-09 del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Dentro de los procesos de purificación se encuentran el de Remoción de Sólidos, Intercambio de Gases y Desinfección, que a su vez se subdividen en los siguientes métodos:

Proceso de Remoción de sólidos

- Remoción de sólidos gruesos
- Desarenado

- Flotación
- Coagulación y floculación
- Sedimentación
- Filtración

Proceso de Intercambio de gases

- Aeración

Proceso de Desinfección:

- Aplicación de cloro y sus derivados
- Aplicación de ozono
- Aplicación de luz ultravioleta

(Acuerdo Ministerial No. 1148-09)

Al investigar las diferentes consecuencias de no contar con un servicio de abastecimiento de agua de buena calidad, el impacto más estudiado corresponde a los efectos en la salud. Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, cinco de las primeras veinte causas de morbilidad general pueden responder a enfermedades de transmisión hídrica: enfermedad diarreica agua, parasitismo intestinal, amebiasis intestinal, dengue clásico y malaria clínica. Todos estos problemas de salud implican diversos costos, tanto para la persona, como para las familias y la sociedad en su conjunto. La vinculación entre una buena presentación de los servicios de agua potable y economía del país, se observa también en la producción agrícola y el comercio exterior, puesto que la calidad del agua empleada para el riego determina la calidad de los productos agrícolas. El hecho de contar con agua no contaminada para el riego tiene un importante impacto a nivel económico y

social en todo el país, dado que permite el desarrollo de producción agrícola en la época seca y mejora significativamente la calidad de los alimentos. (Lentini, 2010).

8. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE SANTA CATARINA BARAHONA

El municipio de Santa Catarina Barahona se encuentra localizado en la región V o Central de Guatemala y ubicado en el departamento de Sacatepéquez con coordenadas geográficas en latitud 14°32'56", longitud 90°47'18". A una altura de 1,550 metros sobre el nivel del mar. La distancia de la cabecera departamental es de 7 kilómetros cuadrados. Al norte del municipio se encuentran los municipios de Pastores y El Tejar municipio del departamento de Chimaltenango, al este se encuentra la cabecera departamental Antigua Guatemala, al oeste se encuentran los municipios de San Miguel Dueñas y Parramos municipio del departamento de Chimaltenango y al sur se encuentran los municipios de San Miguel Dueñas y San Antonio Aguas Calientes. El municipio está organizado a través de 4 zonas y 1 aldea denominada Chirijuyu'. (Municipalidad Santa Catarina Barahona, 2019).

8.1. Habitantes

Los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística -INE-, Santa Catarina Barahona posee una población de 5% ladino-mestizo y el 95% Maya-Kaqchikel. El INE determinó en el año 2022 un total de 2,957 pobladores distribuidos en 47.87% hombres y el 51.17% mujeres. De la calidad de vida de los habitantes, medido por bienestar, felicidad y satisfacción, el municipio se encuentra ubicado en el puesto 286 a nivel nacional y se encuentra en un rango catalogado como alto. De los flujos migratorios que se registran en el municipio se reconoce que, por falta de oportunidades para el desarrollo económico a nivel familiar, hombres y mujeres han migrado a otros países; migración interna a los municipios de Escuintla, Chimaltenango, Antigua Guatemala y Ciudad de Guatemala. (Municipalidad Santa Catarina Barahona, 2019).

8.2. Actividades Económicas

De los oficios tradicionales que se desarrollan en el municipio son los siguientes: Barberos, Carpinteros, Panaderos, Albañiles, Tejedoras, Músicos, Sastres, Artesanos y Agricultores. Dentro de los tejidos realizados se destacan los güipiles, fajas, sutes, servilletas, tapetes, gorras y chalinas. En lo relacionado a la actividad agrícola podemos destacar los siguientes cultivos: mucuy, rábano, elote, frijoles, berro, acelga, cilantro y flores. (Municipalidad Santa Catarina Barahona, 2019). Es común el uso de pesticidas tales como la Cipermetrina (insecticida de acción neurotóxica) y el Bipiridilo (herbicida).

9. INVESTIGACIONES PREVIAS NACIONALES

Se han realizado investigaciones sobre la calidad de agua en diversas partes del país, entre las que se puede mencionar la realizada en el año 2014 por Jesse Cárdenas en el agua potable que se distribuye en el municipio de Zaragoza, Chimaltenango se determinó que esta agua no es apta para consumo humano ya que la misma no cumple con parámetros microbiológicos que establece la norma COGUANOR NTG 29001.

En ese mismo año 2014, Lucia Guix también realizó una investigación sobre el agua que se distribuye en municipio de Patzité, Quiché en el que se determinó que, sí se cumplen con los parámetros fisicoquímicos de la norma COGUANOR NTG 29001, pero no es apta para consumo humano debido a que no cumple con los parámetros microbiológicos de la norma mencionada anteriormente.

Una investigación realizada por Ludwin Barahona en el año 2017 para determinar la calidad del agua del pozo que distribuye a una colonai de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala, concluyo que las muestras analizadas no son aptas para consumo humano ya que no cumplen con los parámetros microbiológicos de la norma COGUANOR NTG 29001.

10. INVESTIGACIONES PREVIAS REGIONALES

Una investigación realizada en Costa Rica por Yun Zhen Wu en el año 2009 determinó que la calidad bacteriológica de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste no era apta para consumo humano ya que la misma presentó contaminación fecal. También se determinó que el agua en la parte alta de la quebrada Victoria se caracterizó por ser ligeramente neutra (pH medio de 6.5) y de la parte baja ácida (pH medio de 4.7).

En El Salvador un estudio realizado por autoridades de medio ambiente determinó que el país cuenta sólo con el 12% del agua con calidad “buena”. Según este estudio, de 123 puntos analizados en los principales ríos del país, ninguno cuenta con un nivel de calidad excelente del agua, 15 de calidad buena, 62 regular, 38 mala y 8 ríos de calidad pésima, entre los que se encuentra el Río Acelhuate en San Salvador. (Situación del Agua en El Salvador, 2010).

Otra investigación realizada en el año 2015 por Sandra Hernández en el arroyo Coyopolan del municipio de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, determinó que el agua presente en este lugar no cumple los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos, por lo que no es apta para consumo humano.

11. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso vital para las actividades diarias de población, se utiliza en el hogar, la agricultura y también en la industria. El objetivo de este estudio es determinar la calidad del agua en el municipio de Santa Catarina Barahona para garantizar que su uso es seguro para consumo humano.

Actualmente se realizaron modificaciones en la red de distribución de agua potable del municipio, las cuales se enfocaron en mejorar la infraestructura de captación de agua de los nacimientos, de los tanques de distribución y en cambios de tuberías. Sin embargo, es importante también realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes para poder determinar si estas modificaciones realizadas afectan o no la calidad del agua que se distribuye en el municipio. Basándose en los resultados se establecerá si las modificaciones en infraestructura afectan la calidad del agua; de ser así se comunicará a las autoridades responsables para que puedan realizar las correcciones necesarias en la red de distribución para evitar situaciones que pongan en riesgo la salud de la población. Como parte del aporte de esta investigación se generará un manual de limpieza y sanitización para el tanque de captación y de distribución para asegurar un procedimiento correcto de limpieza y sanitización independientemente de la rotación de personal, que provea acciones homogéneas durante el proceso de limpieza y desinfección de los tanques.

12. OBJETIVOS

12.1. Objetivo General

- Determinar si el agua que se distribuye en el municipio de Santa Catarina Barahona es apta para consumo humano en base a la norma COGUANOR NTG 29001.

12.2. Objetivos Específicos

1. Tomar muestras representativas estadísticamente, para realizar el análisis organoléptico, fisicoquímico y microbiológico correspondiente.
2. Realizar un manual para la limpieza y sanitización personalizado del tanque de distribución y captación.
3. Implementar una metodología para el correcto lavado de tanques de agua.
4. Capacitar al personal municipal para que pueda realizar de manera correcta el lavado de los tanques de captación de agua.
5. Informar a las autoridades del municipio sobre el resultado de la investigación de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos.

13. HIPÓTESIS

El agua que se distribuye en el municipio cumple con la norma COGUANOR NTG 29001, por lo que es apta para consumo humano.

14. MATERIALES Y MÉTODOS

14.1. Metodología

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua se realizarán en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM), en donde utilizan los métodos de análisis basados en el “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater”.

14.2. Materiales

- Asas bacteriológicas

- Bureta 1-25 mL
- Cajas de Petri
- Cubetas de ensayo de cuarzo
- Frascos estériles con tapa de 250 mL
- Frascos plásticos con tapa de 1000 mL
- Gradillas para incubación de tubos
- Hieleras
- Mecheros de gas
- Pipetas estériles
- Pipetas volumétricas de 1-10 mL
- Pissetas
- Porta pipetas
- Soporte universal
- Tubos de Durham
- Tubos de ensayo
- Tubos de prueba con tapa rosca, adaptables a gradilla y equipo de baño María

14.3. Medios de cultivo

- Agar Eosin Methylene Blue (EMB)
- Caldo Bilis Verde Brillante
- Caldo Escherichia coli (EC)
- Caldo Lauril Sulfato Doble
- Caldo Lauril Sulfato Simple

14.4. Reactivos

- Ácido Acético 96%
- Ácido etilendiaminotetracético (EDTA)
- Ácido Sulfúrico 95%

- Agua desmineralizada estéril
- Brucina
- Cloruro de Bario
- Etanol 70%
- Negro de Ericromo
- Reactivo de Zinc
- Triazina

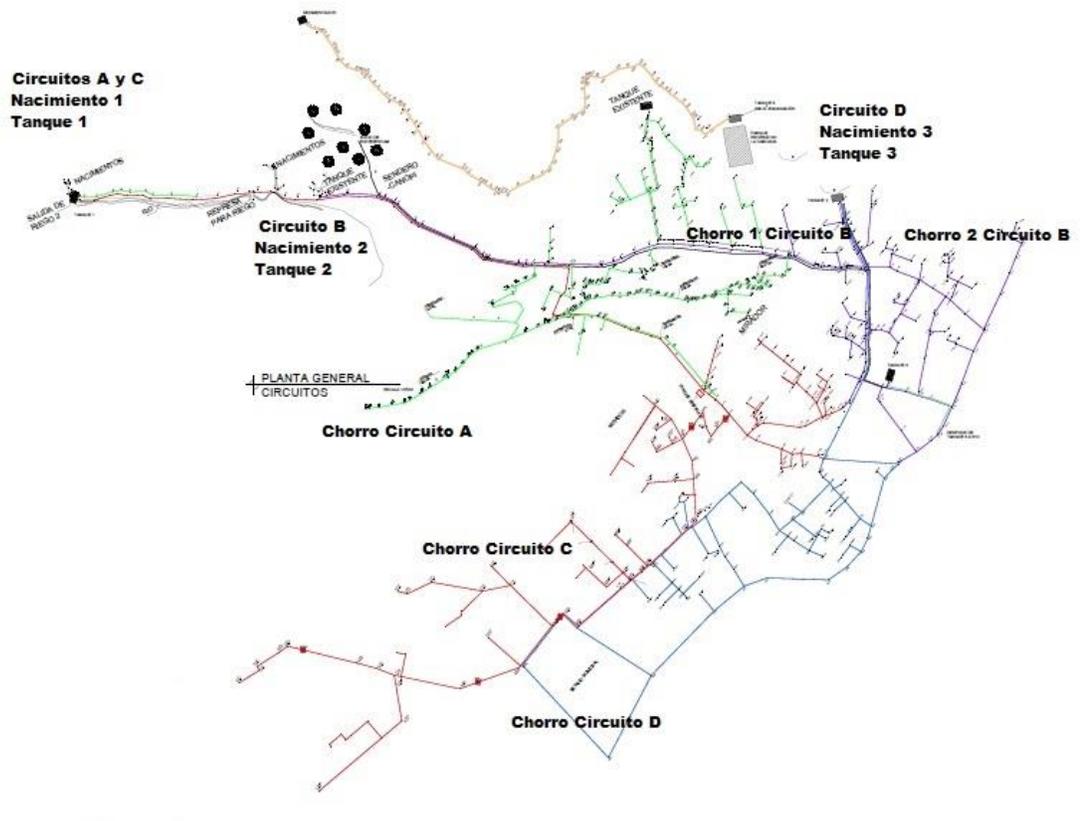
14.5. Equipos

- Autoclave Agitadores
- Baños de María
- Conductímetro Inolab level II
- Espectrofotómetro Hach DRW 50
- Espectrofotómetro Spectroquant Nova 60
- Incubadora
- Potenciómetro Inolab level I
- Refrigerador
- Termorreactor
- Vórtex

15. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

15.1. Población y Muestra

Se tomará un total de 22 muestras, 11 en época seca y 11 en época lluviosa, de la siguiente forma: 3 nacimientos, 3 tanques de distribución y 5 chorros.



15.2. Análisis contemplados y limitados en el presente informe

- Color
- Olor
- Turbiedad
- Conductividad eléctrica
- Potencial de hidrógeno
- Sólidos totales disueltos
- Cloruro

- Dureza total
- Sulfato
- Aluminio
- Calcio
- Cinc
- Cobre
- Magnesio
- Manganeso total
- Hierro total
- Nitratos y nitritos
- Coliformes totales y *E. coli*

15.3. Análisis de resultados

Los parámetros a medir deben de encontrarse en el rango de aceptabilidad según la norma COGUANOR NTG 29001.

16. RESULTADOS

Tabla No. 1 Análisis Físicoquímico de Color (U Pt/Co)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Color realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	3,0 u Pt/Co	8,0 u Pt/Co		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,0 u Pt/Co	21,0 u Pt/Co		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	3,0 u Pt/Co	15,0 u Pt/Co		
Tanque 2 (Circuito Morado)	1,0 u Pt/Co	16,0 u Pt/Co		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,0 u Pt/Co	6,0 u Pt/Co		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,0 u Pt/Co	7,0 u Pt/Co	5,0 u Pt/Co	35,0 u Pt/Co
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,0 u Pt/Co	16,0 u Pt/Co		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,0 u Pt/Co	20,0 u Pt/Co		
Chorro (Circuito Azul)	4,0 u Pt/Co	7,0 u Pt/Co		
Chorro (Circuito Rojo)	0,0 u Pt/Co	10,0 u Pt/Co		
Chorro (Circuito Verde)	0,0 u Pt/Co	9,0 u Pt/Co		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible – u Pt/Co: unidades de color en la escala de Platino-Cobalto

Tabla No. 2 Análisis Físicoquímico de Olor

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Olor realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Tanque 2 (Circuito Morado)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Tanque 3 (Circuito Azul)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Chorro 1 (Circuito Morado)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Chorro 2 (Circuito Morado)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Chorro (Circuito Azul)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Chorro (Circuito Rojo)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		
Chorro (Circuito Verde)	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 3 Análisis Físicoquímico de Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Conductividad realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	192,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	201,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	202,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	200,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	209,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	207,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Tanque 2 (Circuito Morado)	197,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	194,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Tanque 3 (Circuito Azul)	209,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$	206,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$	750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	218,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$	216,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Chorro 1 (Circuito Morado)	198,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	195,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Chorro 2 (Circuito Morado)	199,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	193,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Chorro (Circuito Azul)	198,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	206,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Chorro (Circuito Rojo)	202,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	199,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
Chorro (Circuito Verde)	209,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$	200,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible - ($\mu\text{S}/\text{cm}$): microsimens por centimetro

Tabla No. 4 Análisis Físicoquímico de Salinidad (mg/mL)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Salinidad realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,144 mg/L	0,148 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,148 mg/L	0,148 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,151 mg/L	0,151 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,146 mg/L	0,145 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,151 mg/L	0,150 mg/L	NA	NA
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,156 mg/L	0,155 mg/L		
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,146 mg/L	0,145 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,147 mg/L	0,145 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,146mg/L	0,150 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,148 mg/L	0,147 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	0,149 mg/L	0,148 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 5 Análisis Fisicoquímico Sólidos Totales Disueltos (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Fisicoquímicos de Sólidos Totales Disueltos realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	95,03 mg/L	99,05 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	99,78 mg/L	98,68 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	103,0 mg/L	102,1 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	97,30 mg/L	95,69 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	103,1 mg/L	101,7 mg/L	500,0 mg/L	1 000,0 mg/L
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	107,7 mg/L	106,3 mg/L		
Chorro 1 (Circuito Morado)	97,48 mg/L	96,12 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	98,18 mg/L	95,51 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	97,52 mg/L	101,5 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	99,9 mg/L	98,31 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	100,4 mg/L	98,74 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permissible

Tabla No. 6 Análisis Físicoquímico de Turbiedad (UNT)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Turbiedad realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,25 UNT	0,33 UNT		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,25 UNT	1,57 UNT		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,24 UNT	0,42 UNT		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,23 UNT	2,0 UNT		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,24 UNT	1,35 UNT		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,34 UNT	1,71 UNT	5,0 UNT	15.0 UNT
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,17 UNT	1,42 UNT		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,23 UNT	0,97 UNT		
Chorro (Circuito Azul)	0,39 UNT	0,33 UNT		
Chorro (Circuito Rojo)	0,20 UNT	0,25 UNT		
Chorro (Circuito Verde)	0,46 UNT	2,18 UNT		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible – UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez

Tabla No. 7 Análisis Fisicoquímico de Potencial de Hidrógeno (pH)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Fisicoquímicos de Potencial de Hidrógeno realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	7,9	7,9		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	7,9	7,8		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	7,9	7,8		
Tanque 2 (Circuito Morado)	8,0	7,8		
Tanque 3 (Circuito Azul)	8,0	7,8		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	8,0	7,8	7,0 -7,5	6,5 - 8,5
Chorro 1 (Circuito Morado)	8,1	7,8		
Chorro 2 (Circuito Morado)	8,1	7,8		
Chorro (Circuito Azul)	8,1	7,8		
Chorro (Circuito Rojo)	8,1	7,8		
Chorro (Circuito Verde)	8,1	7,8		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 8 Análisis Físicoquímico de Dureza total (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Dureza total realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	112,8 mg/ L	109,2 mg/ L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	98,4 mg/ L	101,0 mg/ L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	95,6 mg/ L	113,4 mg/ L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	89,2 mg/ L	113,0 mg/ L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	86,3 mg/ L	118,0 mg/ L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	81,8 mg/ L	102,4 mg/ L	100,0 mg/L	500,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	79,6 mg/ L	107,4 mg/ L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	76,8 mg/ L	98,6 mg/ L		
Chorro (Circuito Azul)	73,0 mg/ L	107,8 mg/ L		
Chorro (Circuito Rojo)	110,0 mg/ L	101,6 mg/ L		
Chorro (Circuito Verde)	86,2 mg/ L	91,4 mg/ L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 9 Análisis Físicoquímico de Hierro total (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Hierro total realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,009 mg/ L	0,009 mg/ L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,020 mg/ L	0,023 mg/ L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,017 mg/ L	0,010 mg/ L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,013 mg/ L	0,013 mg/ L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,013 mg/ L	0,019 mg/ L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,025 mg/ L	0,027 mg/ L	NA	0,3 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,022 mg/ L	0,021 mg/ L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,012 mg/ L	0,020 mg/ L		
Chorro (Circuito Azul)	0,034 mg/ L	0,077 mg/ L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,012 mg/ L	0,018 mg/ L		
Chorro (Circuito Verde)	0,026 mg/ L	0,019 mg/ L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 10 Análisis Físicoquímico de Calcio (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Calcio realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	21,3 mg/ L	29,1 mg/ L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	25,9 mg/ L	26,6 mg/ L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	24,5 mg/ L	27,6 mg/ L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	20,6 mg/ L	22,5 mg/ L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	17,5 mg/ L	24,6 mg/ L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	20,7 mg/ L	27,9 mg/ L	75,0 mg/L	150,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	15,6 mg/ L	19,9 mg/ L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	16,7 mg/ L	33,8 mg/ L		
Chorro (Circuito Azul)	16,4 mg/ L	24,8 mg/ L		
Chorro (Circuito Rojo)	24,1 mg/ L	23,8 mg/ L		
Chorro (Circuito Verde)	20,5 mg/ L	20,3 mg/ L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 11 Análisis Fisicoquímico de Magnesio (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Fisicoquímicos de Magnesio realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	14,5 mg/L	8,9 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	8,2 mg/L	8,4 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	8,3 mg/L	10,8 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	9,2 mg/L	13,8 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	10,4 mg/L	13,7 mg/L	50,0 mg/L	100,0 mg/L
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	7,3 mg/L	7,9 mg/L		
Chorro 1 (Circuito Morado)	9,9 mg/L	14,0 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	8,5 mg/L	9,5 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	7,8 mg/L	11,1 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	12,1 mg/L	10,2 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	8,5 mg/L	9,9 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 12 Análisis Físicoquímico de Manganeso (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Manganeso realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	0,040 mg/L	0,010 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,142 mg/L	0,010 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,059 mg/L	0,010 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,139 mg/L	0,010 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,010 mg/L	0,010 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,113 mg/L	0,029 mg/L	0,1 mg/L	0,4 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,064 mg/L	0,010 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,010 mg/L	0,010 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,177 mg/L	0,047 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,010 mg/L	0,010 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	0,010 mg/L	0,010 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 13 Análisis Físicoquímico de Nitratos (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Nitratos realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	13,10 mg/L	11,0 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	14,7 mg/L	8,2 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	13,7 mg/L	12,1 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	10,4 mg/L	10,1 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	12,2 mg/L	7,4 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	8,1 mg/L	5,5 mg/L	NA	50,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	11,1 mg/L	6,4 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	6,3 mg/L	10,7 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	14,6 mg/L	8,2 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	11,3 mg/L	12,3 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	6,4 mg/L	11,5 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 14 Análisis Físicoquímico de Nitritos (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Nitritos realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,053 mg/L	0,104 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,032 mg/L	0,045 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,094 mg/L	0,158 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,069 mg/L	0,023 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,038 mg/L	0,021 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,033 mg/L	0,215 mg/L	NA	3,00 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,056 mg/L	0,063 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,033 mg/L	0,025 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,067 mg/L	0,024 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,053 mg/L	0,073 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	0.030 mg/L	0.136 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 15 Análisis Físicoquímico de Cloruros (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Cloruros realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANO R NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	15,0 mg/L	10,0 mg/L	100,0 mg/L	250,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	15,0 mg/L	10,0 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 16 Análisis Físicoquímico de Sulfatos (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Sulfatos realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANO R NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	4,0 mg/L	1,0 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	4,0 mg/L	2,0 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	2,0 mg/L	2,0 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	1,0 mg/L	1,0 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	4,0 mg/L	2,0 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	9,0 mg/L	8,0 mg/L	100,0 mg/L	250,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	3,0 mg/L	1,0 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,0 mg/L	1,0 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	2,0 mg/L	3,0 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	9,0 mg/L	1,0 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	3,0 mg/L	1,0 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 17 Análisis Físicoquímico de Aluminio (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Aluminio realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	0,041 mg/L	<0,010 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	0,039 mg/L	<0,020 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,047 mg/L	<0,020 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,028 mg/L	<0,020 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,05 mg/L	<0,020 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,050 mg/L	<0,020 mg/L	0,050 mg/L	0,10 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	<0,020 mg/L	<0,020 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,037 mg/L	<0,020 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,044 mg/L	<0,020 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,020 mg/L	<0,020 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	0,020 mg/L	<0,020 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 18 Análisis Físicoquímico de Cinc (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Cinc realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANO R NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,08 mg/L	0,05 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,08 mg/L	0,01 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,05 mg/L	0,04 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	0,09 mg/L	0,01 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	0,05 mg/L	0,05 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	0,09 mg/L	0,04 mg/L	3,0 mg/L	70,0 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	0,05 mg/L	0,06 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,05 mg/L	0,05 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,08 mg/L	0,04 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	0,10 mg/L	0,07 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	0,11 mg/L	0,07 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 19 Análisis Físicoquímico de Cobre (mg/L)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Físicoquímicos de Cobre realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMP
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	<0,02 mg/L	<0,02 mg/L		
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	0,02 mg/L	<0,020 mg/L		
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	0,02 mg/L	<0,02 mg/L		
Tanque 2 (Circuito Morado)	<0,02 mg/L	<0,020 mg/L		
Tanque 3 (Circuito Azul)	<0,02 mg/L	<0,020 mg/L		
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	<0,02 mg/L	0,10 mg/L	0,050 mg/L	1,500 mg/L
Chorro 1 (Circuito Morado)	<0,02 mg/L	<0,02 mg/L		
Chorro 2 (Circuito Morado)	0,05 mg/L	0,05 mg/L		
Chorro (Circuito Azul)	0,09 mg/L	0,24 mg/L		
Chorro (Circuito Rojo)	<0,02 mg/L	0,23 mg/L		
Chorro (Circuito Verde)	<0,02 mg/L	<0,02 mg/L		

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible

Tabla No. 20 Análisis Microbiológico de Coliformes totales (NMP/100 mL)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Microbiológicos de Coliformes totales realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	Limites COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (145.5 NMP/100 mL)	No detectable/100 mL
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (70 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (93.3 NMP/100 mL)	
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (11.0 NMP/100 mL)	
Tanque 2 (Circuito Morado)	Detectable/100 mL (50 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (11.8 NMP/100 mL)	
Tanque 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	
Chorro 1 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (6.3 NMP/100 mL)	
Chorro 2 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Azul)	Detectable/100 mL (900 NMP/100 mL)	No detectable/100 mL	
Chorro (Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (2 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Verde)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (30.5 NMP/100 mL)	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permissible – NMP: Numero Más Probable

Tabla No. 21 Análisis Microbiológico de Coliformes Fecales (NMP/100 mL)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Microbiológicos de Coliformes Fecales realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	Limites COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA
Nacimiento 1 (Circuito Verde- Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (4 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (145.5 NMP/100 mL)	
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (70 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (93.3 NMP/100 mL)	
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	Detectable/100 mL (17 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (11.0 NMP/100 mL)	
Tanque 2 (Circuito Morado)	Detectable/100 mL (50 nmp/100 mL)	Detectable/100 mL (11.8 nmp/100 mL)	
Tanque 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	No presenta limites
Chorro 1 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (6.3 NMP/100 mL)	
Chorro 2 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Azul)	Detectable/100 mL (900 NMKP/100 mL)	No detectable/100 mL	
Chorro (Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (2 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Verde)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (30.5 NMP/100 mL)	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permisible – NMP: Numero Más Probable

Tabla No. 22 Análisis Microbiológico Escherichia coli (NMP/100 mL)

En esta tabla se muestran los resultados de los Análisis Microbiológicos de *Escherichia coli* realizados a las muestras de agua.

Muestra	Época Seca	Época Lluviosa	Límites COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA
Nacimiento 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (145.5 NMP/100 mL)	
Tanque 1 (Circuito Verde-Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (70 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (93.3 NMP/100 mL)	
Nacimiento 2 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (11.0 NMP/100 mL)	
Tanque 2 (Circuito Morado)	Detectable/100 mL (50 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (11.8 NMP/100 mL)	
Tanque 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	
Nacimiento 3 (Circuito Azul)	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL	No detectable/100 mL
Chorro 1 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (6.3 NMP/100 mL)	
Chorro 2 (Circuito Morado)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Azul)	Detectable/100 mL (900 NMP/100 mL)	No detectable/100 mL	
Chorro (Circuito Rojo)	Detectable/100 mL (2 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (400 NMP/100 mL)	
Chorro (Circuito Verde)	No detectable/100 mL	Detectable/100 mL (30.5 NMP/100 mL)	

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico (LAFYM)

LMA: Límite Máximo Aceptable – LMP: Límite Máximo Permissible – NMP: Numero Más Probable

17. DISCUSIÓN

Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez, tomando como base para estos análisis los parámetros establecidos por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001:2013. Santa Catarina Barahona se caracteriza por poseer abundancia del vital líquido, tal como lo es el agua. Existen varios manantiales ubicados en las montañas que rodean el Municipio y en los cuales existen tanques de captación y distribución para trasladar este recurso tan preciado a los hogares de toda la población. En el año 2,020 se realizó un proyecto de mejoramiento de la red de distribución del agua potable, ya que el municipio está en constante crecimiento y la demanda de agua va en aumento por el incremento de la población. Dicho proyecto fue finalizado a finales del año 2,021. El muestreo del agua se realizó en puntos estratégicos de la red de distribución como lo son los nacimientos, tanques y los puntos finales de la red de distribución de cada tanque. El muestreo del agua se realizó en dos etapas, 11 muestras que se tomaron en la época seca (abril 2,022) y otras 11 muestras una vez iniciada la época lluviosa (mayo 2,022). Para la realización de este muestreo se contó con el apoyo de personal municipal encargado del área de agua potable para ingresar a las áreas manantiales y tanques de distribución, así como para ingresar a viviendas en donde se localizaban los puntos finales de las redes de distribución.

En la tabla No. 1 se pueden observar los resultados del análisis de color de las muestras tomadas en diferentes puntos, tanto de época seca como de época lluviosa, todas las muestras se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) de la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, por lo tanto, cumplen, ya que satisfacen los criterios de calidad que esta norma establece, pero cabe resaltar que las muestras tomadas en la época lluviosa presentan un considerable aumento en su medición de color comparados con los

de época seca, lo cual se debe al aumento de sedimentos arrastrados por las lluvias a los tanques de captación y posteriormente a los tanques de distribución.

En la tabla No.2 los análisis de olor realizados a las muestras cumplieron con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 ya que el resultado de todas fue No Rechazable, lo que nos indica que independientemente de la época en la cual fueron tomadas las muestras no presentaba un olor que podría ser indicativo de algún tipo de anomalía en los tanques de distribución o en la red de distribución.

La conductividad y la salinidad están relacionadas debido a que los iones disueltos en el agua aumentan los valores de ambos. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados de forma positiva (+) y negativa (-) y la conductividad se define como la capacidad del agua para producir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. En la tabla No. 3 se plasman los resultados de la conductividad de las muestras y se puede observar que todas presentan valores por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$) establecidos por Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Esta medición expresada por microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), está relacionada con las zonas de contaminación alrededor de un afluente, las aguas que reciben una gran cantidad de contaminación pueden exceder los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Leyva, 2001). En la tabla No.4, se puede observar la medición de salinidad realizada a las muestras, la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 no establece límites a esta medición, que como se mencionaba anteriormente, está relacionada con la conductividad, ya que si la salinidad aumenta lo hará también la conductividad y viceversa.

En la tabla No. 5 se observan los resultados obtenidos del análisis de sólidos totales disueltos, la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 establece como Límite Máximo Aceptable (LMA) la cantidad de 500 mg/L y como Límite Máximo Permisible (LMP) 1000.0 mg/L. El agua con concentraciones menores a 600 mg/L de sólidos disueltos totales es

considerada como aceptable, pero una concentración mayor a 1000.0 mg/L puede conferirle al agua un sabor desagradable y por lo tanto no aceptable. (World Health Organization, 2011). Se puede observar que todos los resultados obtenidos de las muestras están por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 500 mg/L) que establece la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, por lo que el sabor del agua es aceptable.

En la tabla No. 6 se presentan los resultados de turbiedad obtenidos de las muestras, en la cual se pueden observar que algunas muestras tomadas en la época lluviosa, aumentan significativamente su valor de medición en comparación con las muestras que se tomaron en la época seca, pero ninguna sobrepasa el Límite Máximo Aceptable (LMA 5 UNT) que establece la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Las personas asocian el agua que presenta turbiedad alta como no apta para su consumo o peligrosa, por lo que se debe garantizar por medio de los sistemas de distribución que estos niveles de turbiedad del agua se encuentren dentro de los límites considerados como aceptables por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013.

El potencial de Hidrógeno (pH) óptimo del agua es 7, pero esto depende de la naturaleza y composición del agua. La Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 establece como Límite Máximo Aceptable (LMA) un rango de pH de 7-7.5 y como Límite Máximo Permisible (LMP) un rango de 6.5-8.5. Los resultados que se observan en la tabla No. 7 de las muestras analizadas se puede observar que todos se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP 6.5-8.5) establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 y también resalta que los valores obtenidos en la época seca son ligeramente más básicos que los obtenidos de las muestras analizadas de la época lluviosa, esta variación puede deberse al aumento de los iones carbonatos debido a los bajos niveles de agua durante la época seca en comparación con los de la época lluviosa.

En la Tabla No. 8 se muestran los resultados de la dureza total del agua; la cual mide la cantidad carbonato de calcio presente en el agua, se puede observar que los valores de la época seca son menores comparados con los resultados de la época lluviosa. Probablemente el aumento en la acidez en las muestras de la época lluviosa se deba a la caída de lluvia ácida.

Cuando hablamos de dureza del agua nos referimos a la concentración de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en una muestra de agua, tomando en cuenta que un rango de 0-17 mg/L se considera como un agua blanda y un rango mayor a 180 mg/L se considera un agua muy dura. De las once (11) muestras tomadas en época seca, nueve (9) de éstas presentaron valores por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 100 mg/L), solamente dos (2) de las muestras de este grupo presentaban valores por encima de este límite. Así también, de las once (11) muestras tomadas en la época lluviosa, nueve de éstas presentaron valores por encima del Límite Máximo Aceptable (LMA 100.0 mg/L) y solamente dos (2) de este grupo presentaron valores por debajo de este límite. Ninguna de las muestras, tanto de época seca como de época lluviosa, sobrepasaron los Límites Máximos Permisibles (LMP 500.0 mg/L) establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013.

Los resultados de los análisis correspondientes al Hierro total presente en las muestras de época seca y época lluviosa se pueden observar en la tabla No. 9; todos los resultados se encuentran por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 0.3 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013.

En la tabla No. 10 se encuentran plasmados los resultados de los análisis correspondientes al Calcio presente en las muestras de agua de la época seca y época lluviosa, se puede observar que ninguno de los resultados que se obtuvieron en los análisis sobrepasa el Límite Máximo Aceptable (LMA 75 mg/L) establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013.

En la tabla No. 11 se presentan los resultados del Magnesio presente en las muestras de agua, todos los resultados obtenidos se encuentran por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 50 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Una concentración alta de este elemento puede conferirle al agua un sabor amargo, en este caso los resultados obtenidos de todas las muestras presentan concentraciones bajas de Magnesio datos que se corroboran con la ausencia de sabor.

Los resultados de análisis de Manganeso en las muestras de época seca y época lluviosa se presentan en la tabla No.12, se puede observar que algunas de las muestras (4) de la época seca sobrepasan los Límites Máximos Aceptables (LMA 0.1 mg/L), es importante resaltar estos valores por encima de este límite ya que valores mayores a éste pueden conferirle al agua un sabor desagradable. En el caso de los resultados de las muestras de la época lluviosa la totalidad de las muestras presentaron resultados por debajo de este límite.

En las tablas No. 13 y No. 14 se observan los resultados obtenidos del análisis de Nitratos y Nitritos en las muestras de agua de época seca y época lluviosa. En el caso los Nitratos su presencia por encima del Límite Máximo Permisible (LMP 50.0 mg/L) es un indicativo de contaminación provocado por residuos humanos o fertilizantes utilizados en agricultura. Los resultados observados en la tabla No.13, nos muestran que ninguna de las muestras analizadas; tanto de época seca como lluviosa sobrepasan el Límite Máximo Permisible (LMP 50.0 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. En la Tabla No.14 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis de Nitritos realizados a las muestras de época seca y época lluviosa, de los cuales todos se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP 3.00 mg/L) establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, una concentración por encima de este límite es señal de contaminación provocada por filtración de aguas residuales urbanas y/o industriales. (Marín, 2010).

En la tabla No. 15 se pueden observar los resultados del análisis de Cloruro obtenidos de las muestras de agua de la época seca y época lluviosa, todas las muestras de la época seca presentaron un valor de 15.0 mg/L y todas las muestras de la época lluviosa presentaron un valor de 10.0 mg/L, no sobrepasando ninguna de las muestras el Límite Máximo Aceptable (LMA 100 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, un valor de cloruro mayor a 250 mg/L, del que cabe resaltar que es el Límite Máximo Permisible (LMP) de la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, puede provocar que se perciba en el agua el sabor característico del cloro. (World Health Organization, 2011).

La tabla No.16 nos muestra los resultados obtenidos del análisis de sulfatos en las muestras de agua de la época seca y época lluviosa, todas las muestras presentan valores por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 100.0 mg/L). En la tabla No. 17 se presentan los resultados de los análisis de Aluminio realizados a las muestras de agua de la época seca, de las cuales ninguna sobrepasa el Límite Máximo Aceptable (LMA 0.050 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, pero resaltan dos (2) muestras que presentaron un valor por encima de este límite, por el otro lado las muestras de época lluviosa todas se encuentran por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 0.050 mg/L) establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Existen algunos estudios que sugieren que la exposición a grandes cantidades de aluminio puede ser un factor de riesgo para el desarrollo o la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en las personas. (World Health Organization, 2011).

En la tabla No.18 se plasman los resultados de los análisis de Cinc realizados a las muestras de agua de época seca y época lluviosa, todas presentan valores muy por debajo del Límite Máximo Aceptable (LMA 3.0 mg/L). En la tabla No. 19 los resultados de los análisis de Cobre realizados a las muestras de agua de la época seca se puede observar

que solamente una (1) muestra se encuentra por encima del Límite Máximo Aceptable (LMA 0.05 mg/L) establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, mientras que en los resultados de los análisis de Cobre de la época lluviosa, tres (3) muestras se encuentran por encima del del Límite Máximo Aceptable (LMA 0.05 mg/L) establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. De todas las muestras analizadas ninguna sobrepasa el Límite Máximo Permisible (LMP 1,500 mg/L).

La Tabla No. 20 nos muestra los resultados de las muestras de agua de la época seca y época lluviosa correspondientes al análisis microbiológico de coliformes totales. Se puede observar que de las once (11) muestras de agua de la época seca, solamente cuatro (4) cumplen con lo establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, la cual establece que para este análisis No debe ser detectable ningún tipo de bacteria coliforme, ya que la presencia de alguna bacteria coliforme convierte al agua analizada en No apta para consumo humano, como lo es en el caso de las siete (7) muestras en las que se detectaron este tipo de bacterias. Por el otro lado, en los resultados de las muestras correspondientes a la época lluviosa podemos observar que solamente una (1) muestra cumple con lo establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, que corresponde al tanque 3 identificado como el que abastece al circuito azul de la red de distribución, también cabe resaltar que este tanque 3 del circuito azul es el único de los puntos de muestreo en el que no se detectaron Coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia coli*, Es importante mencionar que el nacimiento que abastece a este tanque, fue detectable en época seca y lluviosa la presencia de coliformes totales, así también mencionar que el punto final del circuito azul mostró crecimiento bacteriano correspondiente a Coliformes totales en época seca y época lluviosa, así como Coliformes fecales y *Escherichia coli* en la época seca. La razón de estos resultados puede deberse del arrastre provocado por la caída de lluvia en los alrededores de los nacimientos, tanques de captación y tanques de distribución, ya que

a través de este flujo de agua que la lluvia provoca, facilita la llegada de desechos de origen animal a los lugares antes mencionados, provocando un grave riesgo a la salud de las personas. En el caso del tanque 3, el cual cumplió con los parámetros microbiológicos establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, una de las posibles causas de este cumplimiento puede deberse a la cantidad de cloro que se le dosifica, por lo que no permite el crecimiento bacteriano. Otras posibles causas de estos resultados podrían ser también el resultado de un mal muestreo o un mal análisis.

En tabla No.21 podemos observar los resultados de los análisis microbiológico correspondientes a coliformes fecales, realizados a las muestras de agua de época seca y época lluviosa. Se puede observar que en los resultados de la época seca este tipo de bacteria es detectable en seis (6) de las once (11) muestras analizadas. En cuanto a las muestras de época lluviosa este tipo de bacteria es detectable en ocho (8) de las once (11) muestras analizadas. Es importante resaltar que la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 no establece Límites Máximos Permisibles (LMP) para este análisis.

En la tabla No.22 se pueden observar los resultados de los análisis microbiológicos de *Escherichia coli*, correspondiente a las muestras de agua de la época seca y época lluviosa. Esta bacteria es netamente de origen intestinal y su presencia en el agua para consumo humano representa un riesgo grave para la salud de las personas, ya que puede provocar serios problemas gastrointestinales a las personas que consumen agua con la presencia de esta bacteria. En la tabla No.23 se puede observar que este microorganismo es Detectable en cuatro (4) de las once (11) muestras analizadas de la época seca y en ocho (8) de las once (11) muestras analizadas de la época lluviosa. La Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 establece que esta bacteria no debe ser detectable en agua para consumo humano, ya que como se mencionó anteriormente, representa un riesgo para la salud de las personas que consumen agua que contenga este peligroso microorganismo. Una de las

razones por las que esta bacteria está presente en los resultados de los análisis de agua podría ser el hecho de que algunas personas defecan en los alrededores de los nacimientos, tanques de captación o tanques de distribución, por tal razón también la cantidad de muestras que presentaron la presencia de esta bacteria aumento en la época lluviosa, ya que el agua de lluvia ayuda a arrastrar estos desechos a los afluentes de agua. Otra de las razones podrá ser la filtración de las aguas residuales del drenaje, que podrían estar muy cerca o por encima de las tuberías de distribución de agua potable, cuando lo correcto es que las tuberías de distribución de agua potable estén por encima de la red de drenajes. Una razón también muy importante de estos resultados podría ser también la deficiente o nula limpieza de los tanques de captación y de los tanques de distribución, que provocan una acumulación de residuos sólidos que pueden provocar la contaminación microbiológica del agua.

Para que el agua se considere apta para consumo humano debe cumplir tanto los parámetros fisicoquímicos como los microbiológicos. Las muestras analizadas de la época seca y época lluviosa en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez, cumplieron con el aspecto fisicoquímico establecido por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, sin embargo, estas mismas muestras no cumplieron los aspectos microbiológicos establecidos por esta norma, por lo cual el agua que se distribuye en el municipio de Santa Catarina Barahona, no se considera apta para el consumo humano.

Como parte de los objetivos de esta investigación se dio a conocer a las autoridades del Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez, los resultados obtenidos de los análisis de agua, al mismo tiempo se recibió la autorización para poder realizar una capacitación al personal municipal encargado de las limpiezas a los tanques de captación y distribución, la cual se realizó tomando como guía los manuales de Uso de Equipo de Protección Personal (EPP) y el Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de

distribución de agua (Ver Anexos 1 y 2). Cabe resaltar que, durante la capacitación realizada al personal municipal, se expuso la dificultad para que se les provea de equipo básico de protección, por lo que también mencionaron que el uso de un equipo exclusivo para las limpiezas de los tanques es aún más difícil, ya que actualmente el mismo equipo que utilizan para trabajos de campo o de recolección de basura lo utilizan para las limpiezas de los tanques de distribución de agua. Esto puede ser claramente un factor de contaminación cruzada y podría ser parte de la fuente de contaminación que se vieron reflejados en los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados a las muestras de agua extraídas de los tanques de distribución.

Uno de los elementos extraídos de la capacitación que puede llegar a ser un problema serio es la falta de tiempo para las mismas; ya que se la gestión de la capacitación se realizó con un mes de anticipación asignándole fecha y hora; sin embargo, el día de la realización de la misma las autoridades de la municipalidad les asignaron otras tareas al personal encargado por lo que el tiempo planificado se redujo a 45 minutos.

De acuerdo a lo establecido en la norma ISO 9001:2015 indica que para que un sistema de gestión de la calidad sea efectivo, es necesario el compromiso y liderazgo de la dirección por lo que en el momento que las autoridades se comprometan a gestionar equipo de protección exclusivo para el personal que realiza la limpieza de los tanques, le asignen capacitaciones continuas al personal y se logre dar seguimiento al proceso de sanitización e higiene de los tanques entre otras cosas; se lograrán los resultados esperados en cuanto al cumplimiento del cien por ciento de la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013 y con ello se beneficiara la población de Santa Catarina Barahona, obteniendo agua potable lo cual es un derecho humano fundamental para la salud de las personas, establecido en el Artículo 93. Derecho a la salud, de la Constitución Política de la Republica de Guatemala, así como también en el Decreto 90-97 Código de Salud, Sección II Agua Potable, Artículos 78 al 91,

es posible que en un futuro esto pueda cambiar ya que se permitió realizar el muestreo correspondiente.

18. CONCLUSIONES

- 18.1. El agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez no es apta para consumo humano ya que no cumple con todos los parámetros establecidos en la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013.
- 18.2. Los análisis fisicoquímicos realizados al agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, por lo tanto, cumplen con el aspecto fisicoquímico.
- 18.3. Los análisis microbiológicos realizados al agua que se distribuye en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez se encuentran fuera de los parámetros establecidos por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013, por lo que no cumplen con el aspecto microbiológico.
- 18.4. La deficiente limpieza de los tanques de distribución que abastecen de agua al Municipio de Santa Catarina Barahona afectan la calidad de este recurso vital y puede ser peligroso para la salud de la población.
- 18.5. La falta de capacitación y seguimiento de las tareas realizadas por el personal encargado del agua, pone en riesgo la calidad del agua distribuida en el Municipio de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez.
- 18.6. La ausencia de un procedimiento estándar para la limpieza de los tanques de distribución, además de la falta de equipo de protección exclusivo para la limpieza y sanitización de los tanques de agua impide una limpieza efectiva por parte del personal encargado de realizar estas tareas.

19. RECOMENDACIONES

- 19.1. Establecer un cronograma de limpieza de tanques de captación y distribución, que se acople a la época estacional del año y también que tome en cuenta acciones provocadas por fenómenos naturales como tormentas o huracanes, y que el mismo sea supervisado constantemente por el la persona encargada o supervisor del área para garantizar la ejecución de este procedimiento, dejando constancia escrita de los responsables de esta acción, para poder deducir responsabilidades ante cualquier anomalía que pueda suscitarse.
- 19.2. Proveer al personal municipal encargado del agua de equipo adecuado para la ejecución de sus labores, principalmente equipo protector exclusivo para esa tarea.
- 19.3. Capacitar al personal municipal encargado del agua, para que conozcan y ejecuten de manera efectiva la limpieza de los tanques de captación y distribución.
- 19.4. Realizar muestreos del agua en fechas posteriores a las limpiezas de los tanques de distribución para conocer de esta forma si esta acción fue ejecutada correctamente.
- 19.5. Implementar el manual de limpieza y sanitización de los tanques de distribución para poder garantizar agua apta para consumo humano a la población del municipio.
- 19.6. Continuar con la gestión en la Municipalidad del Municipio de Santa Catarina Barahona, para concientizar al personal a cargo en la importancia de la limpieza y sanitización de los tanques, la capacitación constante y el aprovisionamiento del equipo de protección personal exclusivo para dichas tareas.

20. REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
2. Acuerdo Ministerial No. 1148-09. Manual de Normas Sanitaria que establecen los procesos y métodos de purificación de Agua para Consumo Humano. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala.
3. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2005) Resumen de Salud Pública: Cinc. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los E.E.U.U. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.pdf
4. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2012) Resumen de Salud Pública: Cromo. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los E.E.U.U. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/phs/es_phs7
5. Apella, M., Araujo, P., (2005) Microbiología de agua. Conceptos básicos. Curso “Posibilidad para la provisión de agua segura usando nuevas tecnologías”. Proyecto Solar Safe Water. Recuperado de: https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
6. Argueta, S., (2013) Guía y Estándares Técnicos Aplicados a Agua y Saneamiento. Fondo para el Logro de los ODM. Gobierno de Guatemala. Recuperado de: https://www.sdgfund.org/sites/default/files/ENV_GUIA_Ecu_estandares%20tecnicos%20AS.pdf
7. CEPIS-OPS (2004) Tratamiento de agua para consumo humano. Recuperado de: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CEPIS-OPS%202004.%20Tratamiento%20de%20agua%20para%20consumo%20humano.%20Cap%C3%ADtulo%202.pdf

8. Doménech, X. (2000) El medio hídrico terrestre. Tercera edición. Ed. Miraguano, Madrid.
9. Fernández, A. (2012) El Agua: un recurso esencial. Química Viva 11(3). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
10. Gobierno de Mendoza. (2016) La química del Agua. Departamento General de Irrigación. Recuperado de: http://aquabook.agua.gob.ar/309_0
11. Guidelines for drinking-water quality. Recuperado de: <https://www.who.int › dwq › chemicals › copper>
12. Laboratorio Nacional de Salud (2015) Manual de normas y procedimientos para la toma de muestras y su envío al Laboratorio Nacional de Salud. Recuperado de: <http://portal.ins.gob.gt/media/attachments/2018/12/14/manual-toma-de-muestras-lcs.pdf>
13. 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 (CEPAL). Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3787/LCW335_es.pdf?sequence=1
14. Leyva, P. (2001) El medio ambiente en Colombia. Segunda Edición. IDEAM, Colombia. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co › cap4>
15. Marín, R. (2010) Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Recuperado de: <https://www.eoi.es/es/file/18019/download?token=0LEOxz8H>
16. Marroquín, C. (2017) El 95% del agua se desperdicia en Guatemala debido a contaminación ambiental. Prensa Libre. Recuperado de: <https://www.prensalibre.com/ciudades/el-95-del-agua-se-desperdicia-en-guatemala-debido-a-contaminacion-ambiental/>

17. Martínez, M. (2021) ¿Cuál es el valor del agua?. Agua Limpia y Saneamiento. Guatemala. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de: <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/blog/2021/03/19/-cual-es-el-valor-del-agua---.html>
18. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2017) Manual de Educación ambiental sobre el Recurso Hídrico de Guatemala. Recuperado de: <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>
19. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2013) Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Gobierno de Guatemala. Recuperado de: http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Salud/Politica_Nacional_del_Sector_de_Agua_Potable_y_Saneamient.pdf
20. Municipalidad Santa Catarina Barahona (2019) Política Cultural Municipal. Recuperado de: <https://www.sicultura.gob.gt/wp-content/uploads/2021/08/4-PCM-Santa-Catarina-Barahona.pdf>
21. Norma COGUANOR 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.
22. Norma COGUANOR NTG 29006. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades.
23. Organización Mundial de la Salud (2006) Guías para la calidad del agua potable: Primer apéndice a la tercera edición. Recuperado de: https://www.who.int › dwq › gdwq3_es_full_lowsres
24. Organización Panamericana de la Salud (2009) Guía Técnica No. 11: Medición del cloro residual en el agua. Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. Recuperado de: <http%3A%2F%2Fwww.disaster-info.net%2FAgua%2Fpdf%2F11-CloroResidual.pdf>

25. Organización Panamericana de la Salud (2012) Estudio de calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. Recuperado de: <https://www1.paho.org › stories › PyP › PER37>
26. Orozco, C., et al (2003) Contaminación ambiental: una visión desde la química. Ed. Thomson, España.
27. Palou, N. (2020) La contaminación plástica también invade tejidos y órganos del cuerpo humano. La Vanguardia. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/natural/20200818/482882518615/contaminacion-plastica-invade-tejidos-organos-cuerpo-humano.html>
28. Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia (2011) Recuperado de: http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf
29. SANAA (2020) Calidad del Agua y Covid-19 Recuperado de: <https://aloas.org/institucional/Documents/Calidad%20del%20Agua%20en%20COVID-19.pdf>
30. Sierra, C. (2011) Calidad del Agua: Evaluación y Diagnostico. Medellín, Colombia: Ediciones de la U. Recuperado de: <https://books.google.es/books?id=2fAYEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
31. Situación del Agua en El Salvador (2010) Red Bibliotecaria Matías. Universidad Dr. José Matías Delgado. Recuperado de: <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADCE0000546/Capitulo%201.pdf>

32. Universidad Complutense de Madrid (2009) La dureza total del Agua. Departamento de Química Analítica. Proyecto FTC-09-249 Recuperado de: <https://webs.ucm.es › info › analitic › Asociencia>
33. Universidad Politécnica de Cartagena (2016) Análisis de Aguas: Introducción. Recuperado de: https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf
34. WHO (2004) Copper in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines. Recuperado de: <https://www.who.int › dwq › chemicals › copper>
35. World Health Organization (2011) Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta Edición Que Incorpora la Primera Adenda Recuperado de: <https://apps.who.int › handle › 9789243549958-spa>

21. ANEXOS

ANEXO 1

	Manual de uso del equipo de protección personal (EPP)	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 90 de 5

1. Objetivo

Crear un procedimiento para el uso del equipo personal de protección.

2. Definición

Equipo de protección personal (EPP): conjunto de elementos utilizados por una persona en su trabajo, con el fin de protegerlo contra los riesgos que puedan amenazar su salud y seguridad.

3. Importancia

Se utilizan para que el lugar de trabajo sea seguro y prevenir afecciones en:

- Los pulmones
- La cabeza y los pies,
- Los ojos
- La piel
- El cuerpo

4. Conservación

El uso correcto, almacenaje y conservación de los equipos de protección personal aseguran su eficiencia, deben mantenerse en condiciones adecuadas de seguridad e higiene todo el tiempo, si sufre algún tipo de deterioro será necesario su cambio.

Para esto es necesario leer las instrucciones de uso, almacenaje, limpieza, mantenimiento, revisión y desinfección de los equipos. Un uso incorrecto o mala conservación puede provocar riesgos al trabajador que lo utiliza.

Los equipos de protección personal, como su nombre lo indica, son de uso personal. Si las circunstancias exigen la utilización de un mismo equipo por diferentes personas, se deberá garantizar la limpieza del equipo.

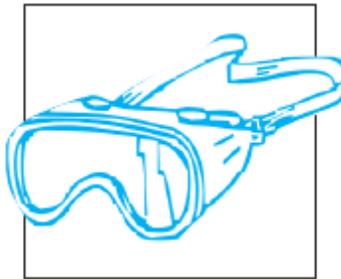
El personal tiene el compromiso siguiente sobre el EPP:

- Utilizar y cuidar de forma correcta los equipos de protección personal.
- Informar al encargado de cualquier desperfecto o daño que se aprecie en el EPP.

	Manual de uso del equipo de protección personal (EPP)	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 2 de 5

5. Tipos de EPP y uso.

Para los ojos: pueden ser lentes protectores. Se colocan buscando cerrar cualquier entrada de sustancias o partículas a los ojos. Utilizada como protección contra golpes, polvo, salpicaduras, disparos de materiales, gases y vapores.



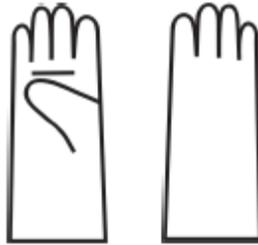
Para la cabeza y el cuello: Pueden ser cascos de seguridad, gorras anti-golpes, redecillas para el pelo y cascos de bombero. Se ajustan de tal forma que este quede rígido en la cabeza. Se utilizan para prevenir golpes en la cabeza, que el pelo se enrede, recibir gotas o salpicaduras de productos químicos.

Partes que constituyen el casco



Para las manos: Pueden ser guantes. Para protección frente a rozamientos, temperaturas extremas, productos químicos.

	Manual de uso del equipo de protección personal (EPP)	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 3 de 5



Para los pies: Pueden ser zapatos cerrados y botas de goma. Se deben proteger debido a la humedad, el calor, el frío, los resbalones y salpicadura de productos químicos.



Para las vías respiratorias: Pueden ser respiradores para atrapar polvo y mascarillas. Para evitar riesgos como lugares con polvos, gases y vapores.



Mascarilla

- 1 Cuerpo de mascarilla
- 2 Arnés de cabeza
- 3 Adaptador de nariz
- 4 Válvula de exhalación. Filtro
- 5 Válvula de inhalación y portafiltro

	Manual de uso del equipo de protección personal (EPP)	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 4 de 5

6. Limpieza de los EPP

La limpieza del EPP es para mantener todo en condición óptima. La limpieza y desinfección del EPP debe realizarse diariamente. La vida útil de los EPP depende de su buen uso, limpieza y cuidados.

Para la limpieza de los cascos, lentes, guantes y botas, se deben seguir las recomendaciones del proveedor.

- En caso de no tener indicaciones, realizar una mezcla de 1 litro de agua y 1 cucharada de jabón en polvo, agitar hasta que se no se observen restos del jabón en polvo.
- Mojar un trapo limpio en la mezcla de jabón y agua, restregar con el trapo los objetos a limpiar, luego enjuagar con agua para remover el jabón.
- Dejar escurrir y luego secar con un trapo seco.
- Es importante que los equipos se sequen completamente para evitar el desgaste, el mal olor y el crecimiento de microorganismos.



En el caso de la limpieza de las mascarillas, primero se deben de quitar los filtros para realizar la limpieza con el trapo enjuagado en agua y jabón. Después del secado también se debe pasar un trapo humedecido con alcohol al 70% para finalizar la limpieza de este equipo.



	Manual de uso del equipo de protección personal (EPP)	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 5 de 5

7. Responsabilidad

- 7.1. Encargado de Oficina de Servicios Públicos
- 7.2. Fontaneros

8. Referencias

- IGSS (2020) Uso y limpieza de equipo de protección personal (EPP). Recuperado de: <https://www.igssgt.org/wp-content/uploads/2020/08/Guia-uso-y-limpieza-de-equipo-de-proteccion-personal-epp-IGSS-2020.pdf>
- OIT (2022) Equipos de protección Personal. Recuperado de: <https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/guide-for-labour-inspectors/personal-protective-equipment/lang--es/index.htm>

ANEXO 2

	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 95 de 8

1. Objetivo

Crear un procedimiento de limpieza y desinfección de los tanques de distribución para garantizar que el agua que se almacena sea apta para consumo humano.

2. Definiciones

Elementos importantes para la limpieza de tanques

Agua potable: es aquella que cumple con las condiciones de calidad que la hace apta para el consumo humano, preparación de alimentos, higiene personal y domiciliar.

Limpieza: eliminar suciedad.

Frecuencia de lavado: tiempo que transcurre entre los lavados de los tanques.

Remover: eliminar la suciedad y restos de detergente.

Sedimento: material presente en el fondo del tanque (tierra, arena, residuos de plantas) que pueden darle al agua sabor desagradable.

Desinfección: destrucción o disminución de microorganismos que producen enfermedades a niveles aceptables.

Desinfectante: producto químico que se utiliza para eliminar microorganismos peligrosos para la salud.

Hipoclorito de sodio: sustancia química que diluida en agua es conocida comúnmente como cloro el cual tiene una acción desinfectante.



	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 2 de 8

Definiciones de Mantenimiento

Tanque de distribución: depósito donde se almacena el agua para su distribución, en el caso de la municipalidad de Santa Catarina Barahona, son depósitos de concreto.



Válvula de drenaje: ubicada en los puntos más bajos de las conducciones para eliminar sedimentos.

Mantenimiento correctivo: consiste en reparar o reponer piezas dañadas por su uso (válvulas de drenaje, tubos de conducción,)

Mantenimiento preventivo: es el mantenimiento que se realiza cada 3 meses o cada 6 meses para evitar daños en el sistema.

Pintura anticorrosiva: pintura que protege las partes metálicas y evita su deterioro (escaleras de ingreso y tapa de ingreso del tanque).

(Manual de administración, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y saneamiento, 2011)

	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 3 de 8

3. Equipo de protección personal (E.P.P.)

Debe de ser de uso obligatorio para el personal encargado de la limpieza y desinfección de los tanques de distribución, su uso también será de forma exclusiva para este proceso.

- 3.1. Casco de protección (de preferencia con luz frontal).
- 3.2. Gafas
- 3.3. Mascarilla de protección para gases tóxicos.
- 3.4. Guantes resistentes a productos químicos de Nitrilo.
- 3.5. Botas de hule de color blanco.



4. Materiales

Estos materiales deben de usarse exclusivamente para la limpieza y desinfección de los tanques de distribución.

- 4.1. Cubetas
- 4.2. Escobas plásticas con mango de plástico.
- 4.3. Cepillos plásticos
- 4.4. Desinfectante (Hipoclorito de Sodio)
- 4.5. Palas con mango de plástico

	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 4 de 8

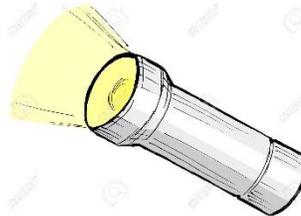
5. Mantenimiento

5.1. Cada Semana

5.1.1. Verificar si hay grietas en los muros de concreto, oxido en las tapaderas o en las escaleras de ingreso a los tanques de distribución. Si se detectan grietas o bien oxido se deberá informar a las autoridades municipales responsables, para programar el arreglo de las mismas. Esto deberá notificarse a la población ya que se quedará sin agua potable durante un periodo de tiempo. Ver Anexo (notificación de aviso para corte de agua para dar mantenimiento a los tanques).



5.1.2. Revisar el interior del tanque que no presente grietas o algún daño interno, se recomienda utilizar una linterna para observar mejor.

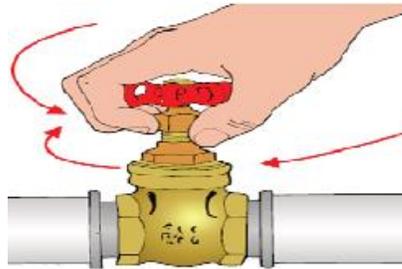


5.1.3. Revisar los candados y las bisagras de las tapaderas y lubricarlas con un poco de aceite 20W para que la llave entre fácilmente en los candados y las bisagras funcionen.



	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 5 de 8

5.1.4. Realizar una revisión general del estado de las cajas buscando grietas y en las válvulas oxido, de entrada, salida y drenaje. Asegurarse de girar las válvulas para que no se traben; girar un cuarto de vuelta hacia la izquierda y derecha, lubricar con unas gotas de aceite 20W.

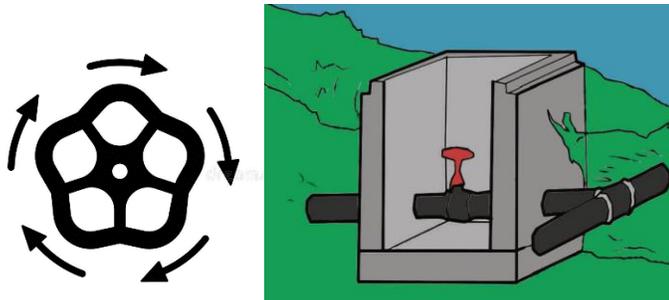


5.2. Cada mes

Limpieza y Desinfección de los tanques

Seguir el procedimiento siguiente:

5.2.1. Cerrar válvula de entrada del tanque, en dirección de las agujas del reloj.



5.2.2. Dejar correr el agua hasta que el nivel del agua llegue aproximadamente a unos 10 a 15 cm.

5.2.3. Cierre la válvula(s) de salida del tanque.

5.2.4. Ingresar al tanque con el equipo necesario (Ver Inciso 3).

5.2.5. Verificar el estado físico interno del tanque de distribución, revisando: fisuras, deterioro del concreto, filtraciones, fugas, presencia de alga, mohos, etc., que puedan potencialmente alterar la calidad del agua o colocar en riesgo el tanque. Si se detecta algún tipo de problema se

	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 6 de 8

debe de informar inmediatamente a las autoridades municipales responsables, para que comiencen las acciones de mantenimiento.



5.2.6. No debemos de usar ningún tipo de jabón o detergente.

5.2.7. Remover los sedimentos del fondo utilizando una pala y cubetas.



5.2.8. Restregar con una escoba plástica las paredes del tanque, haciéndolo de arriba hacia abajo.

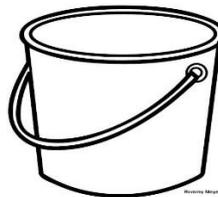
5.2.9. Abrir la válvula de drenaje para eliminar toda el agua sucia.

5.2.10. Abrir la válvula de entrada para realizar un enjuague de las paredes, para eso utilice la escoba limpia de arriba hacia abajo.

5.2.11. Abrir la válvula de drenaje para que salga toda el agua.

5.2.12. Cierre la válvula de drenaje.

5.2.13. En las cubetas de 5 galones con agua vaciar 100 mL de cloro liquido (hipoclorito de sodio) medido con probeta plástica y moverlo para que se mezcle.



	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 7 de 8

5.2.14. Con la solución anterior, por medio de escobas y cepillo plástico, limpiar las paredes y luego el piso del tanque (de arriba hacia abajo)



5.2.15. Abrir válvula de ingreso del tanque y la válvula de drenaje, dejar correr el agua durante 20 minutos para sacar todos los residuos de cloro por el drenaje del tanque, terminada la desinfección.

5.2.16. Cerrar válvula de drenaje.

5.2.17. Al estar lleno el tanque, abrir válvula de salida lentamente.

5.3. Cada año

5.3.1. Pintar con pintura anticorrosiva todos los elementos de metal.

5.3.2. Pintar las paredes externas y el techo del tanque.



	Manual de Limpieza y Desinfección de Tanques de distribución de agua potable	Versión: 1
		Última actualización: 07/2022
Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez		Página 8 de 8

6. Responsabilidad

- 6.1. Encargado de Oficina de Servicios Públicos
- 6.2. Fontaneros

7. Referencias

- Manual de administración, operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y saneamiento. (2011) Programa Conjunto -PC- “Fortaleciendo Capacidades con el Pueblo Mam para la Gobernabilidad Económica en Agua y Saneamiento” Recuperado de:
[https://www.sdgifund.org/sites/default/files/EDG %20MANUAL Guate Admi nistracion%20operacion%20y%20mantenimiento%20APS.pdf](https://www.sdgifund.org/sites/default/files/EDG_%20MANUAL_Guate_Administracion%20operacion%20y%20mantenimiento%20APS.pdf)

ANEXO 3

Registro de Limpieza y Desinfección de Tanques de Distribución Municipalidad de Santa Catarina Barahona, Sacatepéquez

Nombre del Tanque de Distribución:	Fecha de Limpieza:
Responsable de Limpieza:	Cargo que desempeña:

Hora de Inicio: _____

Instrucciones: Marque con una "X" la información que se le solicita a continuación.

No.	Actividad	SÍ	NO	N/A	Observaciones
1.	Personal municipal con el equipo de protección necesario para el proceso.				
2.	Materiales para el proceso de limpieza completos.				
3.	Desinfectante preparado según el manual.				
4.	Se verificó toda la estructura externa del tanque de distribución (válvulas de entrada, salida y drenaje).				
5.	Se observaron grietas en los muros u otro defecto en el exterior de el tanque de distribución.				
6.	Para la limpieza interna, se cerraron las válvulas de entrada y salida. Se abrió la válvula de drenaje.				
7.	Se verificó toda la estructura interna del tanque de distribución.				
8.	Se observaron grietas en los muros u otro defecto en el interior del tanque de distribución.				
9.	Se limpiaron las paredes y piso con escobas y cepillos plásticos.				
10.	Se removieron los sedimentos del fondo				
11.	Se abrió la válvula de entrada del tanque y se dejó correr el agua por 20 minutos para eliminar la suciedad y residuos por el drenaje.				
12.	Se cerro la válvula de drenaje				
13.	Se sacaron del interior del tanque de distribución todos los materiales utilizados en el proceso de limpieza.				
14.	Al estar lleno el tanque se abrió la válvula de salida lentamente.				

Realizado por: _____ Hora final: _____

Supervisado por: _____ Cargo que desempeña: _____

Observaciones:

ANEXO 4

Imágenes de Tanques de distribución y Nacimientos

Imagen No. 1 Tanque de distribución General (Circuito Morado)



Imagen No. 2 Tanque de distribución Pacua (Circuito Verde-Rojo)



Imagen No. 3 Nacimiento (Circuito Azul)



Imagen No. 4 Nacimiento (Circuito Morado)



Imagen No. 5 Deforestación en área de manantiales



Imagen No. 6 Contaminación en tanques de distribución



Imagen No. 7 Muestreo de Tanque de distribución (Circuito Azul)



Imagen No.8 Capacitación Personal Municipal



Imagen No.9 Capacitación Personal Municipal



Imagen No.10 Capacitación Personal Municipal



ANEXO 5

Autorización de Municipalidad de Santa Catarina Barahona para muestreo de agua



Municipalidad de Santa Catarina Barahona
Departamento de Sacatepéquez, Guatemala



REF. MUNICIPALIDAD DE SANTA CATARINA BARAHONA

OFC. 14-2021

ENOL/efgl

Santa Catarina Barahona, Enero 14 de 2021

Señor
Kevin Adonias Otzin Ordóñez
Santa Catarina Barahona
Presente

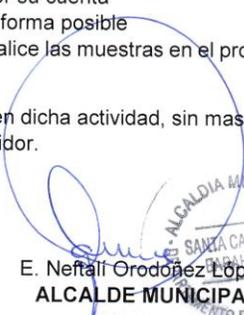
Estimado vecino:

Reciba un cordial y atento saludo, deseándole éxitos y bendiciones en sus labores cotidianas.

Por medio de la presente me dirijo a usted con el fin de informarle que se tuvo a la vista en reunión de Concejo Municipal su solicitud de autorización para la realización de una investigación sobre la calidad de agua que se distribuye en el municipio, por lo anterior me permito informarle que se autoriza lo solicitado con las recomendaciones siguientes:

- 1- Los gastos incurran por su cuenta
- 2- Realizarlo de la mejor forma posible
- 3- Se recomienda que realice las muestras en el proyecto que se esta llevando a cabo.

Desde ya deseándole éxitos en dicha actividad, sin más que agregar me despido de usted, como su atento y seguro servidor.


E. Neftalí Orodríguez López
ALCALDE MUNICIPAL

c/c archivo

1. Secretaría Municipal



Br Kevin Adonias Otzín Ordoñez

Autor



Licda. Julia Amparo García Bolaños, M.A.

Asesora



Lic. Francisco Estuardo Serrano Vives, M.A.

Revisor



Licda. Lucrecia Martínez de Haase, M.A.

Directora Escuela Química Farmacéutica



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino

Decano en funciones

