

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**“CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN CHIMALTENANGO, GUATEMALA”**

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal realizado en los municipios de:
Parramos, Patzicía, Zaragoza, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanyá, Patzún y El Tejar
del departamento de Chimaltenango

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Ciencias Médicas de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Claudia Verónica Corado Martínez
María Cristina Dardón Rodríguez
Allan Fernando Coyote Cumes
Cintia Dayana Méndez Barrios
Alejandra María Fernanda Cifuentes de León
Ana Sofía Ibañez De la Cruz**

Médico y Cirujano

Guatemala, agosto de 2018

El infrascrito Decano y el Coordinador de la COTRAG de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hacen constar que:

Los estudiantes:

1. Claudia Verónica Corado Martínez	201210116	2565164212213
2. María Cristina Dardón Rodríguez	201210230	2324838250101
3. Allan Fernando Coyote Cumes	201210241	2226640610101
4. Cintia Dayana Méndez Barrios	201210248	2268769931202
5. Alejandra María Fernanda Cifuentes de León	201210303	2322351200101
6. Ana Sofía Ibañez De la Cruz	201210306	2270426540101

Cumplieron con los requisitos solicitados por esta Facultad, previo a optar al Título de Médico y Cirujano en el grado de Licenciatura, y habiendo presentado el trabajo de graduación titulado:

**"CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN CHIMALTENANGO, GUATEMALA"**

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal realizado en los municipios de: Parramos, Patzicía, Zaragoza, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanyá, Patzún y el Tejar del departamento de Chimaltenango

Trabajo asesorado por el Dr. Mario Alejandro Samayoa Girón y revisado por la Dra. Sindy Sussel Cheesman Mazariegos, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firman y sellan la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, el dos de agosto del dos mil dieciocho

DR. MARIO HERRERA CASTELLANOS
DECANO



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Coordinador de Trabajos de Graduación
DR. C. CÉSAR OSWALDO GARCÍA GARCÍA
COORDINADOR

César O. García G.
Doctor en Salud Pública
Colegiado 5,950

El infrascrito Coordinador de la COTRAG de la Facultad de Ciencias Médicas, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, HACE CONSTAR que los estudiantes:

1. Claudia Verónica Corado Martínez	201210116	2565164212213
2. María Cristina Dardón Rodríguez	201210230	2324838250101
3. Allan Fernando Coyote Cumes	201210241	2226640610101
4. Cintia Dayana Méndez Barrios	201210248	2268769931202
5. Alejandra María Fernanda Cifuentes de León	201210303	2322351200101
6. Ana Sofía Ibañez De la Cruz	201210306	2270426540101

Presentaron el trabajo de graduación titulado:

"CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN CHIMALTENANGO, GUATEMALA"

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal realizado en los municipios de:
Parramos, Patzicía, Zaragoza, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanyá, Patzún y el Tejar
del departamento de Chimaltenango

El cual ha sido revisado por la Dra. Mónica Ninet Rodas González y, al establecer que cumplen con los requisitos establecidos por esta Coordinación, se les **AUTORIZA** continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, a los dos días de agosto del año dos mil dieciocho.

"ID Y ENSAÑAD A TODOS"

César O. García G.
Doctor en Salud Pública
Colegiado 5,950

Dr. C. César Oswaldo García García
Coordinador



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Facultad de Ciencias Médicas
T. de la Facultad de Graduación
COORDINADOR

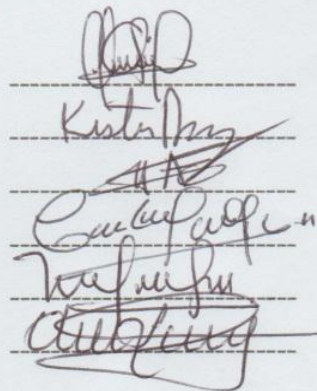
Guatemala, 2 de agosto del 2018

Doctor
César Oswaldo García García
Coordinador de la COTRAG
Facultad de Ciencias Médicas
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Dr. García:

Le informamos que nosotros:

1. Claudia Verónica Corado Martínez
2. María Cristina Dardón Rodríguez
3. Allan Fernando Coyote Cumes
4. Cintia Dayana Méndez Barrios
5. Alejandra María Fernanda Cifuentes de León
6. Ana Sofía Ibañez De la Cruz



Presentamos el trabajo de graduación titulado:

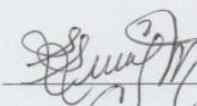
"CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN CHIMALTENANGO, GUATEMALA"

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal realizado en los municipios de:
Parramos, Patzicía, Zaragoza, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanyá, Patzún y el Tejar
del departamento de Chimaltenango

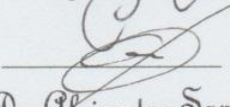
Del cual el asesor y la revisora se responsabilizan de la metodología,
confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y
de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

Revisora: Dra. Sindy Sussel Cheesman Mazariegos
Reg. de personal 20070954

Asesor: Dr. Mario Alejandro Samayoa Girón



Sindy S. Cheesman M.
Doctora en Salud Pública
Colegiada 10,850



Dr. Alejandro Samayoa
Colegiado 2700

DEDICATORIA

A Dios, por sus bendiciones, por brindarme la sabiduría, fortaleza en los momentos difíciles e iluminar mi camino permitiéndome culminar esta importante etapa en mi vida.

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, por darme la oportunidad de cumplir esta meta. Gracias a su esfuerzo diario hoy podemos compartir este triunfo en familia y demostrar que con dedicación, perseverancia y los valores inculcados en el hogar es posible alcanzar lo que nos proponemos.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ciencias Médicas, por ser mi centro de formación profesional y brindarme todos los conocimientos que ahora me permitirán ejercer mi profesión de manera íntegra y responsable.

Al Sistema de Salud de Guatemala, por brindarme la oportunidad de poner en práctica mis conocimientos, adquirir habilidades y experiencia capacitándome para estar al servicio de la población.

A los Médicos Asesores y Revisora de tesis, por su orientación en la finalización de este trabajo de graduación.

A Melvin González, por estar presente desde el inicio de mi carrera, por su amor, apoyo, comprensión y por motivarme cada día a seguir adelante, logrando superar cualquier obstáculo y cumpliendo nuestros propósitos siempre juntos.

A familiares y amigos, por su apoyo durante mi formación y que el día de hoy me honran con su presencia.

Claudia Verónica Corado Martínez

DEDICATORIA

A mi mamá, por todo tu cariño, comprensión, esfuerzo, apoyo incondicional desde que nací, por ser mi mejor amiga y la mejor consejera, por ser quien quiero llegar a ser en la vida. Sin ti no sería nada de lo que soy ahora.

A mi papá, por todo tu apoyo, esfuerzo, cariño, por compartir tus conocimientos, por ayudarme cuando lo he necesitado y llevarme al hospital todas las mañanas. Sos un ejemplo como profesional.

A mi hermano gracias por toda la alegría, consejos, apoyo, comprensión, cariño que me has dado desde que naciste, sos el mejor regalo que la vida me pudo dar, mi mejor amigo, gracias por estar para mí siempre.

A mi novio, gracias por estar siempre que lo necesité durante toda la carrera, por todo su amor, amistad, comprensión, por sus palabras de ánimo y por ayudarme a ser mejor cada día.

A mis amigos de promoción por su amistad, apoyo y momentos compartidos durante estos siete años.

A mis amigas del colegio por su amistad, risas, consejos y cariño durante todos estos años.

A nuestro asesor, Dr. Alejandro Samayoa, porque creyó en la realización de la tesis y nos brindó su experiencia y conocimientos.

A nuestra revisora, Dra. Sindy Cheesman, porque nunca se dio por vencida con nosotros y exigió lo mejor de nuestro esfuerzo.

María Cristina Dardón Rodríguez

DEDICATORIA

A Dios, señor, tú eres mi Dios; te exaltaré y alabaré tu nombre porque has hecho grandes maravillas, desde tiempos antiguos tus planes son fieles y seguros Isaías 25:1; Hoy puedo decir Dios ha sido fiel, sus promesas se cumplen y agradezco haber tenido la oportunidad de estudiar tan bello arte, como es la medicina. Gracias Dios, A ti sea la Gloria.

A mis padres, que me han forjado con amor y paciencia, gracias por sus consejos y enseñanzas, a mi padre Pedro Coyote Ajú gracias por los sacrificios que has hecho por mí, por venir a dejarme todas las mañanas durante estos siete años y por tus consejos, A mi madre Paulina Cumes Ajú, gracias por siempre apoyarme, escucharme y consolarme en momentos en los que lo necesite siempre estabas para mí; Me han formado con reglas y algunas libertades, pero al fin y al cabo me motivaron para alcanzar mi sueños y anhelos, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, gracias por darme esta oportunidad, son mi ejemplo a seguir los amo.

A mis hermanas, gracias por su apoyo y amistad, por los sacrificios y amor que me han ofrecido, las quiero Annie y Janise.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ciencias Médicas, por ser mi casa de estudios y proporcionarme todos los conocimientos que ahora poseo para poder ejercer esta honorable profesión.

Al Sistema de Salud de Guatemala, por darnos la oportunidad de ejercer y poner en práctica esta profesión, así como la realización de esta tesis. Gracias.

A mis abuelas, gracias por sus incontables oraciones y palabras de ánimo, por siempre escucharme y darme su amor y cariño.

A mis amigos y colegas, quienes sin esperar nada a cambio, compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, y que gracias a ellos este trayecto de mi vida fue lo más agradable.

A nuestro asesor, Dr. Alejandro Samayoa que creyó en la realización de la tesis, por su apoyo y porque siempre estuvo para nosotros, gracias.

A nuestra revisora, Dra. Sindy Cheesman Que nunca se dio por vencida y siempre tubo fe en nosotros, por sus consejos y por llevar a cabo este logro, gracias.

Y a todas aquellas personas que durante estos 7 años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Gracias a Todos.

Allan Fernando Coyote Cumes

DEDICATORIA

A ti Dios, te dedico esta meta alcanzada. Tú, quien has sido mi mano derecha durante todo este camino recorrido, por haberme permitido llegar hasta este momento, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que dí y que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradezco a mis padres, Marvin Méndez y Luz Barrios por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, los valores que me inculcaron, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre pero más que nada, por su amor al ayudarme a construir un sueño que se convierte hoy en realidad.

A mis hermanos, Marvin Roderico y Luis Eduardo; por el ejemplo en la superación de cada objetivo planteado, porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad incondicional en todos los momentos de mi vida, por las aventuras vividas y por las que nos quedan por vivir.

A mi familia; por cada palabra de motivación brindada en el transcurso de este camino, por la comprensión y porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis amigos; que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, por sus orientación y sus palabras siempre nutridas de optimismo y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

Y a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos. Gracias por valorar mi talento, creatividad y darme oportunidades para desarrollarme.

Cintia Dayana Méndez Barrios

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo todos los días de mi vida en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Tu amor y bondad no tienen fin.

A mi madre Victoria, por darme la vida y ser el pilar fundamental en todo lo que soy y creer en mí, por tu sacrificio, tiempo y esfuerzo durante estos años y desvelos, por haberme apoyado y acompañado en todo momento. Gracias por tus consejos y valores que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, agradezco tu amor incondicional. Nunca podré devolverte todo lo que has hecho por mí.

A mi padre Raúl, por tu amor y esfuerzo por darme una carrera, por acompañarme durante este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos. Se que estas orgulloso de la persona en la cual me he convertido y que siempre podré contar contigo.

A mis hermanos, Gabriela y Raúl, quienes con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

A mi familia, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi asesora y revisor, Dra. Sindy Cheeseman y Dr. Alejandro Samayoa por su apoyo y motivación en la elaboración y culminación de esta tesis.

Alejandra María Fernanda Cifuentes de León

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y poner en mí el sueño de ser médico, guiando mi camino, y brindándome la fortaleza para levantarme en los momentos más difíciles y la perseverancia para alcanzar mis metas.

A mis padres, Rubén Wilfredo Ibáñez Thomae y Noelia Lissy De la Cruz Girón, por su amor incondicional, apoyo, por todo su apoyo y sacrificios, y por creer en mí, alentándome cada día a superarme a mí misma. Gracias por ser mi pilar y mi fuerza, estando en mis logros y fracasos. Gracias por su sabiduría e inculcar en mi valores y principios a través de su ejemplo. Ustedes hicieron esto posible.

A mis hermanos Andrea y Rubén Andrés, mis mejores amigos y más leales amigos, mis compañeros de vida, por su amor sincero y todo su cariño. La vida no sería la misma ni tan divertida sin ustedes.

A mi familia, abuelos, tíos y primos, por todo su cariño, su fe en mí, su apoyo y sabios consejos.

A mis amigos, con quienes he compartido el camino tanto de la vida como de la carrera, por su compañía y amistad. Gracias por todos los momentos compartidos, las anécdotas y aventuras mientras crecemos juntos como profesionales y como personas, demostrándome que los malos momentos son mejores si se está con amigos.

A mis maestros y profesores, por compartir sus conocimientos y sabiduría que solamente se adquiere con la experiencia, ayudando a mi formación profesional, en especial a la Dra. Sindy Cheesman y al Dr. Alejandro Samayoa, por su paciencia y dedicación en todo este proceso.

Y por último, a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por brindarme la oportunidad de cumplir mi sueño de ser médico y por enseñarme a buscar siempre la excelencia, siendo el más importante principio de la medicina el ayudar al prójimo.

Ana Sofía Ibáñez De la Cruz

De la responsabilidad del trabajo de graduación:

El autor o autores es o son los únicos responsables de la originalidad, validez científica, de los conceptos y de las opiniones expresadas en el contenido del trabajo de graduación. Su aprobación en manera alguna implica responsabilidad para la Coordinación de Trabajos de Graduación, la Facultad de Ciencias Médicas y para la Universidad de San Carlos de Guatemala. Si se llegara a determinar y comprobar que se incurrió en el delito de plagio u otro tipo de fraude, el trabajo de graduación será anulado y el autor o autores deberá o deberán someterse a las medidas legales y disciplinarias correspondientes, tanto de la Facultad, de la Universidad y otras instancias competentes.

RESÚMEN

OBJETIVOS: Determinar la calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable en los municipios de Patzicía, Patzún, Zaragoza, Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar y San Andrés Itzapa, del departamento de Chimaltenango, durante mayo y junio de 2018. **POBLACIÓN Y MÉTODOS:** Estudio prospectivo de corte transversal, en el cual se realizó un análisis microbiológico mediante el método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en 43 muestras de agua provenientes de hidrantes públicos. Datos obtenidos de los informes elaborados por el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC. **RESULTADOS:** El 76.74% de los hidrantes no son sanitariamente seguros para consumo humano al encontrarse 33 muestras con resultados positivos para coliformes totales y 23 contaminadas por *E. coli*. Santa Cruz Balanyá y Patzún presentan el 100% de hidrantes con contaminación fecal, siendo los municipios con mayor proporción de hidrantes con agua no potable, mientras que el municipio de Parramos presentó la menor proporción de hidrantes contaminados con 83.33%. **CONCLUSIONES:** El agua que se distribuye en el departamento de Chimaltenango no se considera potable al no cumplir con los parámetros establecidos por COGUANOR NTG 29001, presentando 76.74% de muestras analizadas con coliformes totales y 53.49% con *E. coli*. Los municipios con mayor grado de contaminación fueron Patzún, Santa Cruz Balanya, Patzicía y San Andrés Itzapa, mientras que Parramos fue el que reportó mayor proporción de agua potable.

Palabras Clave: agua potable, microbiología del agua, abastecimiento del agua, coliformes, *Escherichia coli*.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1. Marco de antecedentes	3
2.2. Marco referencial	8
2.3 Marco teórico	23
2.4 Marco conceptual	25
2.5 Marco geográfico	27
2.6 Marco demográfico	27
2.7 Marco institucional	28
2.8 Marco legal	29
3. OBJETIVOS.....	33
3.1 Objetivo general	33
3.2 Objetivos específicos.....	33
4. POBLACIÓN Y MÉTODOS.....	35
4.1 Enfoque y diseño de investigación.....	35
4.2 Unidad de análisis y de información.....	35
4.3 Población y muestra	35
4.4 Selección de los sujetos a estudio	36
4.5 Definición y operacionalización de variables.....	37
4.6 Recolección de datos	38
4.7 Procesamiento y análisis de datos.....	41
4.8 Alcances y límites de la investigación	42
4.9 Aspectos éticos de la investigación	44
5. RESULTADOS.....	45
6. DISCUSIÓN	53
7. CONCLUSIONES.....	57
8. RECOMENDACIONES	59
9. APORTES.....	61
10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
11.ANEXOS.....	69

1. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida, siendo fundamental para prácticamente todas las funciones del organismo, además contribuye al desarrollo sostenible en otras formas importantes como la agricultura y servicios de saneamiento para la salud. Sin embargo, también puede ser portadora de microorganismos causantes de enfermedades, por lo que su calidad microbiológica está íntimamente relacionada con el nivel de vida y sanitario de un país.¹

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel mundial, cien mil millones de personas carecen de acceso a una fuente de agua potable, repercutiendo en la incidencia de las enfermedades transmitidas por agua contaminada. El 88% de los casos anuales de diarrea en el mundo pueden atribuirse a la insalubridad del agua y deficiencias en saneamiento e higiene, causando la muerte de millones de personas; en su mayoría niños menores de cinco años.² Se ha descrito que entre los microorganismos patógenos más frecuentes se encuentran los del grupo coliformes, constituyendo un grupo heterogéneo de bacterias con hábitat intestinal, y su detección en agua sugiere deficiencia en el tratamiento e integridad del sistema de distribución.³ La presencia de *Escherichia coli* (E. coli) en agua también es indicativo de contaminación fecal, pues rara vez se encuentra en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal.⁴

A nivel nacional, el recurso hídrico está en riesgo de contaminación constante como consecuencia del crecimiento de la población, incremento de las actividades pecuarias y el establecimiento de asentamientos humanos en zonas no adecuadas. La Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), del 2012 indica que en el área rural de Guatemala, solo el 30% de los hogares tienen acceso a servicios básicos, como agua potable y drenajes.⁵ El departamento de Chimaltenango se encuentra dentro de los cinco departamentos que poseen las coberturas más bajas en saneamiento y abastecimiento de agua potable.⁶

El control de la calidad del agua es importante para determinar la potabilidad de los recursos hídricos que consume la población, y debe realizarse a través de la detección de indicadores de contaminación fecal, como lo son las bacterias del grupo coliformes y E. Coli.⁵ Por consiguiente, surgió la siguiente pregunta: ¿Cuál es calidad microbiológica del agua que se utiliza en el departamento de Chimaltenango?

Con el fin de responder dicha interrogante, se decidió realizar este estudio prospectivo descriptivo durante el mes de mayo y junio del 2018 en los municipios de Patzicía, Patzún, Zaragoza, Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar y San Andrés Itzapa de Chimaltenango, debido a que son los que presentan los mayores porcentajes de contaminación según los datos obtenidos del cuadro de “*Situación de la calidad de agua para consumo humano*” del año 2017, proporcionado por la dirección de área de salud de Chimaltenango.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de antecedentes

Se han realizado diversos estudios referidos a la calidad del agua dentro y fuera del país, uno de ellos corresponde a Gudiel (1996), quien determinó la calidad del agua para consumo humano y el uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula; el objetivo principal fue el determinar la calidad física, química y bacteriológica del agua distribuida por el sistema de abastecimiento de Santa Catarina Pinula y sus alrededores.

Se planteó como hipótesis verificar si el agua suministrada por la municipalidad de Santa Catarina Pinula cumplía con las especificaciones para agua potable establecidas por COGUANOR NGO 29001, se utilizaron cuatro puntos de muestreo siendo los más representativos del área de estudio, entre ellos el tanque de captación del río Las Minas, escuela pública de El Pueblito, tanque de distribución municipal y centro de salud municipal, tomando de cada uno de ellos seis muestras en época no lluviosa y seis en época lluviosa, en ambas estaciones climáticas las muestras de agua fueron recolectadas directamente del grifo del hidrante. Para la toma de la muestra bacteriológica se utilizó la técnica de flameo con mechero de alcohol para evitar contaminación ajena, se esterilizó el grifo y se dejó correr el agua por dos minutos, recolectándose entonces la muestra, estas fueron transportadas al laboratorio con medidas de refrigeración. Se utilizaron los criterios establecidos por COGUANOR NGO 29001 para el análisis bacteriológico, expresando los resultados en el número más probable de bacterias coliformes por 100 centímetros cúbicos. De acuerdo a los resultados de las características químicas, el agua no era potable ya que la concentración de hierro excedió el máximo permisible. Los resultados bacteriológicos no mostraron tendencia del número más probable de coliformes fecales y totales por 100 centímetros cúbicos en los cuatro puntos de muestreo, sin embargo, se pudo apreciar un aumento en el número máximo probable en 100 centímetros cúbicos, en la época de invierno. Se concluyó que ninguna de las muestras agua sometidas a análisis era potable, por lo que se recomendó implementar procesos de tratamiento de agua para remover el alto contenido de hierro y coliformes encontrados.⁸

El estudio realizado por Gramajo (2004), sobre la determinación de la calidad de agua para consumo humano y uso industrial obtenida de pozos mecánicos en la zona 11 de Mixco, Guatemala. El objetivo principal fue determinar la calidad de agua para consumo humano y uso industrial proveniente de cuatro pozos de dicha comunidad. Para la toma de muestras

fisicoquímicas se utilizaron recipientes de polietileno de 3.78 litros de capacidad, el procedimiento planteado fue lavar el recipiente tres veces con agua del mismo pozo donde se tomó la muestra, la cual debió ser transportada en un lapso de una hora y de no ser posible se colocó en refrigeración a una temperatura de cero a cinco grados centígrados para un tiempo máximo de 24 horas.⁹

Gramajo indicó que para toma de la muestra se practicó la técnica de flameo con mechero de alcohol por un minuto; para el transporte de la muestra se utilizó refrigeración a una temperatura de -20°C y para el análisis bacteriológico el método de tubos múltiples de fermentación. Los resultados se compararon con la norma COGUANOR NGO 29001 para agua potable y con la norma propuesta por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), para uso industrial del agua; concluyendo que las muestras analizadas de los cuatro pozos si cumplen con los límites físicos, químicos y bacteriológicos de COGUANOR NTG 29001 para considerarse agua potable.⁹

Los dos estudios anteriores se relacionan con la presente investigación ya que la toma de muestras se realizó directamente de los grifos representativos del sistema de distribución de agua de las comunidades estudiadas. Cabe mencionar que en el primer estudio la fuente del agua es de un manantial y ríos, en tanto que la del segundo estudio es referente a pozos mecánicos; sin embargo, ambas fuentes de agua son representativas de las comunidades, así mismo, en ambos estudios se utilizaron las normas COGUANOR NGO 29001 para determinar la calidad microbiológica del agua.

Roldán (2006), en su estudio del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa, se planteó como objetivo determinar la calidad físico-química y bacteriológica del agua en el municipio de Guazacapán, Santa Rosa.¹⁰

La metodología consistió en establecer muestreos de agua cada 15 días en los tres tanques de distribución de agua potable existentes, tanto en la época lluviosa como en época seca, con una duración de cinco meses. Durante la época lluviosa (septiembre a noviembre de 2005) se obtuvieron cuatro muestras por cada tanque, para un total de 12 muestras; en el muestreo de verano (enero y febrero del 2006) se obtuvieron cuatro muestras por cada tanque, con un total de 12 muestras. Las muestras se procesaron en el laboratorio de microbiología de referencia y la unidad de análisis instrumental ambos de la Facultad de Ciencias Químicas y

Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados obtenidos indicaron que el agua para consumo humano de la población de Guazacapán, departamento de Santa Rosa, no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001 para agua potable, ya que las muestras sobrepasan los límites máximos permisibles para coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli, concluyendo que el agua distribuida a los domicilios del municipio de Guazacapán no es apta para el consumo humano y pone en riesgo la salud de los habitantes. Se recomendó implementar un sistema de desinfección y descontaminación de la red de distribución.¹⁰

De la Peña (2006), desarrollo el estudio Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en Puerto Barrios, cabecera del departamento de Izabal. Su objetivo principal fue determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de distribución municipal en Puerto Barrios, cabecera departamental de Izabal, tomando como base los estándares que define la Norma COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable. Se trabajaron dos muestreos exploratorios, tomando ocho muestras en total en los siguientes puntos: una muestra por cada uno de los barrios a los que llega el agua municipal (El rastro, El Bordo, Loma Linda, Las Nubes, de la 15 a la 19 calle y de la 14 a 18 avenida) y una muestra de cada uno de los pozos que suministran el agua municipal. El periodo de la toma de las muestras se llevó a cabo durante la época lluviosa (mayo a noviembre) y durante la época seca (de diciembre a abril). Las muestras fueron procesadas en el laboratorio ECOQUIMSA, se procesaron con base al Estándar Methods of the Examination of Water and Wastewater. Los resultados obtenidos indicaron que el agua de distribución municipal no cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos especificados de la norma COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable. Por lo tanto, De la Peña concluye que el agua municipal que se distribuye en los barrios del casco metropolitano de Puerto Barrios, cabecera de Izabal, no cumple con todas las especificaciones de la Norma COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable, por lo que no es apta para consumo humano.¹¹

En el estudio de Pensamiento (2011), se determinó la calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, tuvo como objetivo principal determinar la calidad del agua para consumo humano que la municipalidad provee al casco urbano de dicho municipio, a través de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de conformidad con la norma COGUANOR NGO 29001. Se seleccionaron 90 muestras al azar de forma estratificada provenientes del nacimiento, el tanque de captación y la red de distribución conformada por siete barrios en la cabecera del municipio. Las muestras fueron trasladadas y

analizadas en el laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados indicaron que el 100% de las muestras analizadas contenían coliformes totales, fecales y E. coli en cantidades por arriba de los límites máximos permisibles, al igual que el análisis fisicoquímico, en el cual el 52% de las muestras presentaron valores máximos permisibles para el parámetro de cromo y el 97% de las muestras no contenían cloro. Se concluyó que el agua suministrada por la municipalidad a la población de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, no es apta para consumo humano, ya que no cumple con los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos permitidos por COGUANOR NGO 29001.¹²

Los estudios de Roldán (2006) y Pensamiento (2011), se relacionan con el presente estudio en que el análisis del agua se realizó en las áreas del casco urbano de determinados municipios, la metodología del muestreo es similar en ambas, siendo la que se utilizó en este estudio. Además, las muestras se procesaron en el laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, lugar donde se procesaron las muestras para el estudio en curso.

Guix (2014) realizó la Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en el municipio de Patzité del departamento del Quiché, su objetivo principal fue determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de distribución municipal de Patzité del departamento de El Quiché, tomando como base los parámetros que define la Norma COGUANOR NGO 29001:99 para agua potable y la normativa internacional de la organización mundial de la salud. Para el estudio se tomaron cinco muestras de cada tanque de distribución o pozo mecánico siendo un total de siete puntos de muestreo por cinco días de análisis durante el mes de enero y febrero 2013, a excepción de dos tanques que no se incluyeron en el estudio por lo que se tomaron en total 33 muestras, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de calidad de Agua del Quiché. La investigadora concluye que el agua que abastece al municipio de Patzité, no es potable, ni apta para consumo humano, por no cumplir con los parámetros de pruebas bacteriológicas según los límites de las normas COGUANOR NGO 29001 y de la organización mundial de la salud.¹⁴

El estudio de Guix se relaciona con el presente en el análisis de agua potable municipal y según las normas COGUANOR NGT 29001, difiere en que las muestras se tomaron directamente

de la fuente y no de hidrantes públicos, sin embargo, concluye que el agua no es apta para consumo humano por la presencia de coliformes totales y E coli.

En la investigación de Venegas, Campos y Mercado (2014) de Bogotá, Colombia, determinaron evaluar la calidad de agua para consumo recolectando 36 muestras de grifos y recipientes, adicionalmente recolectaron 15 muestras de agua residual. Para evaluar la calidad microbiológica del agua utilizaron como indicadores la presencia de E. Coli, *Clostridium perfringens* con el método de filtración por membrana y de colifagos somáticos mediante la técnica de doble agar en 100 mL de agua. Obteniendo como resultado que 14 de las 36 muestras recolectadas y las 15 obtenidas de agua residual se encontraban con contaminación de origen fecal.¹⁴

Éste estudio es distinto en algunos aspectos con la presente investigación, sin embargo, se puede relacionar debido a que se utiliza como indicador la presencia de E. Coli en agua obtenida de grifos, al igual que el método por filtración de membrana es el mismo que se utilizará y la forma en la que se recolectaron las muestras.

Escobar (2015), en su tesis estableció el estado sanitario del agua del pozo municipal ubicado en la aldea La Faja, Chiquimulilla, Santa Rosa según las normas COGUANOR NGO 2900, el muestreo lo realizó una vez al mes durante cuatro meses. El análisis fue realizado en el laboratorio de análisis ambiental del Centro Universitario de Oriente (CUNORI) de la USAC, en donde se determinó que el 100% de las muestras recolectadas la primera vez presentaron contaminación por E. Coli y coliformes totales, por lo que Escobar contactó a las autoridades, las cuales realizaron una limpieza profunda del pozo y administración periódica de cloro, cada diez días. En los siguientes muestreos, se llegó a la conclusión de que únicamente dos muestras presentaban contaminación por coliformes totales y E. Coli, lo cual lo atribuyó a la mala técnica al momento de la toma de la muestra o a su manejo, por lo que determinó que el agua del pozo municipal de la aldea La Faja cumple con las especificaciones recomendadas en la norma COGUANOR NGO 29001, por lo tanto, es apta para el consumo humano.¹⁵

En el año 2016 la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala publicó un estudio cuyo objetivo fue conocer la calidad del agua que se distribuye en el casco urbano del municipio de Zaragoza, Chimaltenango, mediante el muestreo de dos tanques de distribución en el mes de abril. Se analizaron diez muestras utilizando el

método de tubos múltiples, en donde se determinó que el agua estudiada no cumple con los parámetros bacteriológicos. Por lo que la misma debe de ser clorada para que sea apta para el consumo humano.¹⁶

En contraparte la tesis realizada en los meses de julio y agosto de 2015 por Manes y Sarg, planteo el análisis microbiológico y fisicoquímico del agua pura que se expende en dos zonas de la ciudad capital de Guatemala, con la finalidad de verificar si cumple o no los límites permisibles de la norma COGUANOR 29005, tomando en cuenta 15 expendios de la zona 5 y 12 de la zona 18, se recolectaron 27 muestras por duplicado para ser un total de 54 muestras analizadas. Con base a los análisis realizados se estableció que la mayoría de expendios estudiados cumplían con los parámetros de la norma COGUANOR 290005.¹⁷

El clima puede ser un factor determinante de la contaminación hídrica, ya que los estudios previos fueron realizados en diferentes meses del año y puede que ello haya influido en los resultados obtenidos. En el mes de abril con clima caluroso la calidad microbiológica del agua potable en el municipio de Zaragoza, Chimaltenango se encuentra contaminada con bacterias coliformes, sin embargo, en época de lluvia la calidad microbiológica y fisicoquímica que se expende en zonas de la Ciudad de Guatemala cumplían con los parámetros de la norma COGUANOR 290005.

A excepción del estudio realizado en la Aldea Las Fajas, Chiquimulilla, Santa Rosa y en las zonas 5 y 18 de la Ciudad de Guatemala, todos los análisis de los recursos hídricos indican que la calidad microbiológica del agua potable de distintos lugares de Guatemala se encuentra contaminada con bacterias coliformes y E. colim sobrepasando los parámetros aceptables para el consumo humano establecidas por la norma COGUANOR NTG 29001, de manera que la alteración en su calidad fisicoquímica y microbiológica puede perjudicar la salud de la población.

2.2. Marco referencial

2.2.1. Red o sistema de distribución de agua potable

Un sistema de distribución de agua, actúa como una vía para el transporte de agua potable de manera confiable y en cantidades adecuadas a los consumidores con la finalidad de proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios, entre otras funciones. Una adecuada red

de distribución tiene que transportar el líquido desde el tanque de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos.¹⁸

Los sistemas de distribución de agua constan de una combinación compleja de componentes, entre los que se incluyen tuberías, accesorios, bombas, depósitos, válvulas, tomas de agua, medidores y contraflujo que son fundamentales para mantener la integridad física del sistema.¹⁸ Integridad física se refiere a la capacidad del sistema de mantener una barrera física entre el agua en la red y el ambiente externo.¹⁹

Según su ubicación la red de distribución de agua puede pertenecer al sector privado o público. Una red de distribución privada aporta derechos concretos al dueño sobre uso y disfrute del bien material, mientras que si se localiza en el sector público el consumo está autorizado, el volumen de agua entregado a registrado clientes del proveedor de agua y otros que están autorizados a hacerlo para uso doméstico, comercial e industrial propósitos, si estos usuarios están medidos o no.¹⁹

2.2.2 Estructura del sistema de distribución

Estas se estructuran de acuerdo al tipo de función que desempeñan y que tienen una relación directa con la serie decreciente de los diámetros de la tubería con el fin de ajustarse a la distribución de consumo y a la reducción de pérdidas de carga, hacer frente a situaciones imprevistas y a reducir el coste.¹⁹ Entre ellas se encuentran:

- Las conducciones de aducción son las encargadas de recoger el agua desde los puntos de captación o tratamiento y llegan hasta la zona urbana.¹⁹
- La red de distribución urbana es la que toma el agua de la aducción directamente o de los diferentes depósitos reguladores y la distribuye entre todos los puntos de consumo.¹⁹
- Las acometidas son las que partiendo de la derivación de la tubería general suministran al consumidor.¹⁹

2.2.3 Configuración básica de la red de distribución

Se refiere a la forma en la que se enlazan o trazan los tubos de la red de distribución para abastecer de agua la toma domiciliaria.¹⁸ En general estas se clasifican en dos grandes grupos:

las ramificadas y las malladas. Se organizan de esta manera debido al funcionamiento o la localización.¹⁸

- Una red ramificada o abierta es aquella que va uniendo los diferentes puntos de consumo con una única tubería.¹⁸
- Una red mallada o cerrada es la que va formando conexiones entre diferentes vías, consiguiendo que cada punto de consumo tenga más de una vía de flujo.¹⁸

2.2.4 Forma de distribución

Es la manera en la que el agua es distribuida a los usuarios. Las de mayor uso son las de gravedad y la de bombeo.¹⁸

- Por gravedad: el agua de la fuente se conduce o bombea hasta un tanque elevado desde el cual fluye por gravedad hacia la población. De esta forma se mantiene una presión suficiente y prácticamente constante en la red para el servicio de la comunidad.¹⁸
- Por bombeo: funcionan por bombas de abastecimiento las cuales bombean el agua directamente a la red de agua. Este es el sistema menos deseable, puesto que una falla en el suministro eléctrico significa una interrupción completa del servicio de agua. Existe una variante de este sistema que es el bombeo directo a la red, con disponibilidad a tanques de regulación.¹⁸

2.2.6 Componentes de la red de distribución

Toda red de distribución de agua está formada por los siguientes elementos:

A. Tuberías

Son conductos de sección circular que en conjunto forman el sistema de ensamble de la red de distribución de agua, estos se unen en diversos puntos denominados nodos o uniones. De acuerdo a su función esta red de tuberías puede dividirse en primaria y secundaria, dependiendo del tamaño de la red y de los diámetros de las tuberías.¹⁹ La red primaria está constituida por los tubos de mayor diámetro; la secundaria, por la tubería de menor diámetro, la cual abarca la mayoría de las calles de la localidad. Así, una red primaria puede ser una sola tubería de alimentación o cierto conjunto de tubos de mayor diámetro que abarcan a toda la comunidad.²⁰

B. Piezas especiales

Son todos aquellos accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, uniones de tubería de diferente material o diámetro y terminales de los conductos, entre otros.²⁰

C. Válvulas

Se utilizan para disminuir o evitar el flujo en la tubería. Pueden ser clasificadas de acuerdo con su función en dos categorías:²⁰

- Aislamiento o seccionamiento: utilizadas para separar o cortar el flujo del resto del sistema de abastecimiento en ciertos tramos de tubería, bombas y dispositivos de control con el fin de revisarlos o repararlos.
- Control: usadas para regular el gasto o la presión, facilitar la entrada de aire o la salida de sedimentos o aire atrapados en el sistema

D. Hidrantes

Toma o conexión especial instalada en ciertos puntos de la red, con el propósito de abastecer de agua a varias familias (hidrante público) o conectar una manguera una bomba destinados a proveer agua para combatir el fuego (hidrante contra incendio).¹⁸ Los hidrantes públicos son tomas compuestas usualmente por un pedestal y una o varias llaves comunes que se ubican a cierta distancia en las calles para dar servicio a varias familias.²⁰ El agua obtenida del hidrante público es llevada a las casas en contenedores tales como cubetas u otros recipientes. Se utilizan en poblaciones pequeñas en los casos donde las condiciones económicas no permiten que el servicio de agua potable se instale hasta los predios de los usuarios.²⁰

E. Tanques de distribución

Depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente prever fallas en el suministro, aunque algunos tanques suelen realizar ambas funciones.²⁰

F. Tomas domiciliarias

Es el conjunto de piezas y tubos que permite el abastecimiento desde una tubería de la red de distribución hasta el predio del usuario, así como la instalación de un medidor. Es la parte

de la red que demuestra la eficiencia y calidad del sistema de distribución, pues es la que abastece de agua directamente al consumidor.²⁰

G. Rebombes

Consisten en instalaciones de bombeo que se ubican generalmente en puntos intermedios de una línea de conducción y excepcionalmente dentro de la red de distribución.¹⁸ Tienen el objetivo elevar la carga hidráulica en el punto de su ubicación para mantener la circulación del agua en la tubería.²⁰

H. Cajas rompedoras de presión

Son depósitos con superficie libre del agua y volumen relativamente pequeño, cuya función es permitir que el flujo de la tubería se descargue en esta, eliminando de esta forma la presión hidrostática y estableciendo un nuevo nivel estático aguas abajo.¹⁸

2.2.7 Análisis de agua potable

2.2.7.1 Calidad del agua para consumo humano

El agua potable según se define en las guías de la OMS, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda la vida.²⁰ La calidad del agua para consumo se puede comprobar mediante una serie de medidas: protección de las fuentes de agua, control de las operaciones de tratamiento, gestión adecuada de la distribución y la manipulación del agua.²¹ Existe una amplia gama de componentes microbianos y químicos del agua de consumo que pueden ocasionar efectos adversos sobre la salud de las personas. Su detección tanto en el agua no tratada como en el agua suministrada a los consumidores, suele ser lento, complejo y costoso, lo que limita su utilidad para la alerta anticipada y hace que resulte poco módico.²⁰ Para determinar que el agua es potable se utilizan parámetros los cuales deben indicar que el agua se encuentra exenta de coliformes totales, *E. coli*, termotolerantes, virus, huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios, algas, nemátodos y bacterias heterotróficas menores de 500 UFC/ml a 35°C.

Para proteger la salud pública se deben planificar cuidadosamente las actividades de monitoreo y los recursos utilizados para ello, centrándose en características significativas o de importancia crítica.²¹ El control de la calidad del agua de consumo requiere el desarrollo de planes de gestión cuya aplicación constituye la base para la protección del sistema y el control de procesos con el fin de garantizar que las concentraciones de agentes patógenos y sustancias

químicas existentes no ocasionen riesgos para significativos en salud pública y que la misma sea aceptable para los consumidores.²⁰

2.2.7.2 Evaluación del sistema de distribución de agua potable

Debido a que la calidad del agua de consumo varía de unos puntos a otros del sistema, el objetivo de la evaluación debe ser determinar si la calidad final del agua suministrada al consumidor cumplirá de forma sistemática las metas de protección de la salud establecidas. La evaluación del sistema de abastecimiento de agua de consumo es igualmente aplicable a grandes instalaciones con sistemas de distribución de agua por tuberías, a sistemas de suministro comunitarios, incluidas las bombas manuales y sistemas de abastecimiento domésticos particulares.¹⁸

Para evaluar la calidad de la fuente y los cambios en el sistema es preciso contar con la asesoría de expertos. La evaluación de los sistemas debe revisarse de forma periódica, tomando en cuenta el comportamiento de determinados componentes o grupos de componentes que pueden afectar a la calidad del agua.²¹ Una vez determinados y documentados los peligros reales y potenciales, se puede calcular el nivel de riesgo de cada peligro, clasificarlos en función de su probabilidad y de la gravedad de sus consecuencias.

2.2.7.3 Directrices para la verificación

La inocuidad del agua de consumo se garantiza mediante la aplicación de un plan de seguridad del agua que incluye el monitoreo de la eficacia de las medidas de control mediante determinantes seleccionados de forma adecuada. Además de este monitoreo operativo es preciso realizar una verificación final de la calidad, la cual consiste en el uso de métodos, procedimientos o pruebas adicionales a los utilizados en el monitoreo operativo, para determinar si el sistema de abastecimiento de agua de consumo cumple los objetivos estipulados en las metas de protección de la salud o si es necesario modificar y volver a validar el plan de seguridad del agua.²¹

2.2.7.4 Calidad microbiológica del agua

La verificación de la calidad microbiológica del agua conlleva el análisis de microorganismos indicadores de contaminación fecal, y pueden determinarse concentraciones de patógenos específicos;²² este análisis incluye la identificación de *E. coli* y coliformes totales y fecales. Estudios previos han demostrado que la densidad del grupo de los coliformes es un

indicador del grado de contaminación y por tanto, de la calidad sanitaria. El significado de las pruebas y su interpretación se han utilizado como patrones de comparación de la calidad bacteriológica de los suministros de aguas.

A pesar de que *E. coli* es un indicador útil, tiene limitaciones. Los virus y protozoos entéricos son más resistentes a la desinfección; por tanto la ausencia de *E. coli* no implica necesariamente que no haya presencia de estos organismos.²¹ En ciertos casos puede ser deseable incluir en los análisis microorganismos más resistentes, como bacteriófagos o esporas bacterianas, por ejemplo cuando se sabe que el agua de origen que se usa está contaminada con virus y parásitos entéricos o si hay una incidencia alta de enfermedades virales y parasitarias en la comunidad.

La calidad del agua puede variar con gran rapidez y todos los sistemas pueden presentar fallos ocasionales.²² Por ejemplo la lluvia puede hacer aumentar en gran medida la contaminación microbiana en aguas de origen y son frecuentes los brotes de enfermedades transmitidas por el agua después de periodos de lluvias. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.²¹ En caso de presentarse este tipo de factor para la toma de muestra de agua de los hidrantes a estudio se deberá consultar a cada municipalidad acerca del método que utilizan para abordar dicho problema.

2.2.7.5 Métodos de detección bacteriana

En el análisis microbiológico del agua no se buscan las bacterias o virus patógenos directamente, sino algunas bacterias indicadoras, los coliformes, de contaminación por heces fecales y que sin ser patógenas residen en el intestino del ser humano y los animales.²¹

Existen diversas técnicas de análisis microbiológico que permiten detectar la presencia de ciertos microorganismos indicadores de contaminación, tales como el método de filtración por membrana, técnica del número más probable (NMP), o fermentación en tubos múltiples. De los cuáles el más utilizado es el de filtración por membrana.²³

A. Filtros de membrana

Son filtros de superficie que muestran una estructura microporosa. Usualmente compuestos de ésteres de celulosa con poros de 0.45 µm de diámetro que retienen los coliformes totales y otras clases de bacterias.²⁴ Las partículas mayores que los poros de la membrana, son

retenidas en la superficie de la misma, mientras que las más pequeñas pueden pasar el filtro. El número de coliformes totales presentes en el agua se determina mediante la filtración de volúmenes específicos de la muestra a través de filtros de membrana.²⁵ El volumen de muestra a filtrar es usualmente de 100 ml. Las partículas retenidas en los filtros de membrana se incuban en un medio selectivo a 35°C +/-2 durante 18 a 20 horas.²⁴

Se utiliza el caldo Endo para el recuento de coliformes totales, el cual es un medio que permite el aislamiento selectivo de los coliformes totales al utilizar inhibidores para el resto de microorganismos. El lauril sulfato y desoxicolato que forman parte de la fórmula del medio permite crecer a los coliformes lactosa positivo pero inhibe el crecimiento del resto de bacterias acompañantes.²⁵ Las colonias lactosa positiva se colorean de rojo por la liberación de fucsina del sulfato de fucsina. Las colonias de E. Coli y de los coliformes muestran generalmente un brillo metálico.²⁴

2.2.8 Agua

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es una sustancia elemental que permite la vida en nuestro planeta, un líquido incoloro, inodoro e insípido que en grandes masas adquiere un color azul.¹

2.2.8.1 Recurso natural

El planeta tierra es principalmente acuoso ya que el 70% de su totalidad está cubierta por agua, de la cual el 97.5% representa agua salada y únicamente el 2.5% corresponde a agua dulce y se encuentra de ésta accesible para uso humano el 0.003% ya que la mayor parte está en los glaciares.¹

En toda la superficie de la tierra se estiman unos 1 386 000 000 kilómetros cúbicos de agua.² El agua disponible para consumo humano proviene principalmente de acuíferos subterráneos aportando aproximadamente el 98% mientras que el resto se obtiene de ríos, lagos y lagunas.¹

Desde sus cualidades físicas, el agua permanece constantemente en un ciclo de evaporación, transpiración, precipitación y desplazamiento hacia el océano. Este recurso encuentra su auto-reproducción en el denominado ciclo del agua que lo convierte en un elemento renovable, sin embargo, el abuso de éste puede generar que la producción natural se vea interrumpida convirtiéndolo en un recurso limitado y vulnerable.³ A nivel mundial el uso de este

recurso se estima que el 70% de agua dulce es utilizado para agricultura, el 22% para el sector industrial y aproximadamente el 8% restante son usados para consumo doméstico.²

El agua dulce destinada al consumo humano y a la agricultura procede de las precipitaciones que recibe la tierra.¹ Sin embargo, la cantidad de agua que se precipita desde la atmósfera no puede ser mayor que la que se evapora en la superficie de la tierra, de ésta manera el agua se recicla constantemente como consecuencia de la evaporación producida por la energía solar, las lluvias y el caudal de los ríos dependen del ciclo anual de las estaciones climáticas⁴ y adicionalmente el acceso al agua potable se ha incrementado en la última década, por lo que se considera que si no se estima de manera adecuada el recurso hídrico uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá escasez de agua antes del año 2030.³ La OPS afirma que “a pesar de la escasez, los recursos hídricos disponibles son suficientes para atender las necesidades de todos los seres humanos, pero la distribución de este bien entre las diversas regiones es muy desigual; la demanda de agua es cada vez mayor y su contaminación resulta preocupante.”⁴

2.2.8.2 Recurso vital para seres vivos

El agua contribuye a la estabilidad del entorno de los seres vivos, por lo que se convierte en un elemento indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta.¹ Es un bien de primera necesidad y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales.³ Es el componente más abundante e importante del planeta lo que ha hecho que los seres vivos dependan de su existencia.⁴

Es un factor esencial para el bienestar de los seres humanos y la conservación de los ecosistemas naturales, esta característica le confiere un valor vital¹ y especial comparada con cualquier otro recurso ya que el mantenimiento y crecimiento de la población de un espacio geográfico depende del abastecimiento regular de agua en condiciones de calidad y cantidad aceptables.

El cuerpo humano está compuesto entre un 55 a 78% de agua dependiendo de medidas, complexión y edad. Los seres humanos necesitan agua en cantidades que variarán dependiendo del nivel de actividad física, temperatura y humedad. La mayor parte de esta agua se absorbe de la comida y bebida. Se ha determinado que aproximadamente deben consumirse entre seis a ocho vasos de agua diarios para mantener una adecuada hidratación.⁵

En 1945 el consejo nacional de investigación de Estados Unidos de América a través de la plataforma de alimentación y nutrición señala que el consumo de una cantidad ordinaria de agua para cualquier persona es de un mililitro de agua por cada caloría de comida y la mayor parte la obtienen de alimentos, refiere que el organismo de una mujer debería consumir 2.7 litros y el hombre 3.7 litros.⁶ El agua se expulsa del cuerpo de muy diversas formas: a través de la orina, las heces, en forma de sudor, o en forma de vapor de agua, por exhalación del aliento, se pierde alrededor de 2500 a 3500 centímetros cúbicos. Una persona enferma expuesta directamente a fuentes de calor perderá mucho más líquido, por lo que sus necesidades de consumo también aumentarán.⁷

2.2.8.3 Agentes de desarrollo humano

Históricamente se ha vinculado el agua estrechamente con el desarrollo de las sociedades ya que se convirtió en un factor de selección de asentamientos humanos. Antiguas culturas como la egipcia determinaron su asentamiento cerca de grandes ríos asegurando su subsistencia, desarrollo y crecimiento por la cercanía a estas fuentes acuíferas.⁴ El agua promueve o desincentiva el crecimiento y desarrollo social y económico en una sociedad, ya que es capaz de afectar patrones de vida en una región, por lo que se reconoce como agente preponderante del desarrollo.¹

2.2.8.4 Derecho humano esencial

La asamblea general de naciones unidas, aprobó en julio del año 2010 en su sexagésimo cuarto período de sesiones una resolución que reconoce el agua potable y el saneamiento básico como derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida.²⁶

Se ha reconocido la importancia del agua para el desarrollo de sociedades incluyendo el abastecimiento, saneamiento e higiene en los objetivos de desarrollo del milenio, englobado en el objetivo siete que garantiza la sostenibilidad del medio ambiente se encuentran las siguientes metas:²⁷

- Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y programas nacionales para evitar su pérdida.
- Reducir a la mitad del porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento por medio de estrategias de gestión de recursos.

2.2.8.5 Uso del agua

El uso puede ser individual, colectivo, industrial y agrícola, sin embargo, puede agruparse en tres categorías:

A. Uso de alto grado

Para los cuales se requiere de agua potable de calidad como: agua para beber, para crianza de animales, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de ropa y utensilios de cocina.³

B. Usos específicos

Para los cuales quizá se requiera una calidad mínima incluidos: uso recreativo, higiene, tratamiento de belleza y médicos tales como diálisis renal con criterios de calidad diferentes aplicados al agua potable; De uso industrial que requiere un nivel de calidad del agua apropiado para la tecnología usada. Usos agrícolas como el riego, pulverización, cultivo de plantas acuáticas, crianza de peces, moluscos y crustáceos que requiere agua de calidad específica.³

C. Otros Usos

Descarga de inodoros, riego de parques, jardines, lavado de vehículos, limpieza de calles, generación de energía hidroeléctrica, enfriamiento industrial, hidrantes de incendio y sistemas autonómicos de extinguidores.³

2.2.8.6 Agua en Guatemala

Guatemala posee 18 ríos principales que se originan en las partes altas de los volcanes, debido a la lluvia y abundancia de recursos existe una cantidad necesaria suficiente para cubrir la demanda, sin embargo no hay un buen manejo de los recursos para desarrollar y mantener los requerimientos de suministros por lo que éste recurso se ve agotado hasta una situación crítica que conlleva a una distribución desigual en la población ya que las áreas más densamente pobladas la disponibilidad de agua es baja.²⁶

El porcentaje de la población con acceso a servicios de agua potable y sanidad es bajo, en 1994 únicamente el 54% de la población tenía acceso al agua potable y 49% a servicios de sanidad. La mayoría de áreas rurales no poseen sistemas convencionales de aguas negras por lo que las enfermedades a causa de la contaminación del agua se han diseminado.²⁴ La

deforestación ha contribuido a alterar la dinámica del ciclo hidrológico. Este es un problema muy serio en Guatemala que tiene consecuencias devastadoras para el medio ambiente y continúa en aumento.²⁶

2.2.8.7 Contaminación del agua

La contaminación biológica y química ocurre en intensidades variadas. La contaminación biológica debido a patógenos en los acuíferos poco profundos es por la inadecuada disposición de desechos humanos y animales. Generalmente, solo los acuíferos profundos y confinados deben ser considerados seguros de estar libres de la contaminación biológica y química.²⁸

Se entiende por contaminación, la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, inducir condiciones en el agua que de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores que deterioren o dificulten los beneficios del recurso.²⁸

Las enfermedades de origen hídrico, son responsables de más del 65% de los ingresos hospitalarios en los países en desarrollo y 30% de las muertes de niños menores de un año. La contaminación del agua es uno de los problemas más graves con los que se enfrenta la civilización actual, destacando como agentes contaminantes principales los materiales sólidos vertidos en aguas residuales, productos químicos agrícolas, metales pesados que se incorporan al caudal de los ríos.⁴

A. Fuentes de contaminación natural

El agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo como las sales minerales, calcio, magnesio, hierro entre otros. Aunque pueden ser nocivos para la salud se pueden identificar y eliminar fácilmente.²⁸

B. Fuentes de contaminación artificial o antrópica

Son producidas como consecuencia de actividades humanas, el desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el medio ambiente y para el organismo ya que se caracterizan por ser difícil de eliminar. Las fuentes de contaminación antrópica que afectan a la calidad del agua suelen categorizarse en dos tipos: puntuales y no puntuales.²⁸

- Fuentes de contaminación puntuales: son aquellas caracterizadas por descargas únicas o discretas, en las que los contaminantes provienen de una única área geográfica aislada o confinada.²⁸ Entre estas se pueden mencionar descargas de efluentes domésticos, efluentes industriales, operaciones con residuos peligrosos, drenaje en minas, derrames y descargas accidentales.

- Fuentes de contaminación no puntuales: involucran fuentes de contaminación difusas y comprenden actividades que abarcan grandes áreas, pudiendo causar la contaminación general del agua subterránea. Se pueden clasificar según la procedencia en agricultura, ganadería, drenaje urbano, explotación del suelo, rellenos sanitarios, deposición atmosférica y actividades recreativas.²⁸ Son más difíciles de controlar que las fuentes puntuales.

C. Microorganismos patógenos

A este grupo de contaminantes pertenecen las bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades diversas como dermatológicas, respiratorias, gastroenteritis, hepatitis, cólera, fiebre tifoidea entre otras; las cuales son motivos importantes de muerte prematura principalmente en niños.²⁸ Normalmente los microorganismos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas.²⁹

Hay una variedad de bacterias transmitidas por el agua que son de interés desde la perspectiva de la salud de los seres humanos,²⁹ consisten en bacterias oportunista que se pueden encontrar en sistemas acuáticos que por lo general producen enfermedades en individuos susceptibles inmunológicamente.²⁸ Las más conocidas y más letales son las *Aeromonas spp.*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* como el serotipo 0157:H7 y *Mycobacterium spp.*²⁹

D. Desechos orgánicos

Son los residuos producidos por los seres humanos y animales, incluyendo heces, orina y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y no pueden vivir en estas aguas seres vivos dependientes de oxígeno.²⁸

E. Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos

agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.²⁸ La minería libera compuestos tóxicos al suelo que luego son transportados por la corriente hacia la fuente de agua.²⁹

2.2.8.8 Efectos de la contaminación del agua

La contaminación del agua ocasiona graves riesgos para el medio ambiente, seres humanos y animales.²⁸ Los cuales pueden ser directos o indirectos.

A. Directos

Por ingestión de agua contaminada, contacto cutáneo o mucosas (con fines recreativos, contacto ocupacional o incluso terapéutico) pudiendo originar infecciones locales o sistémicas, principalmente en personas con inmunodepresión.³⁰

B. Indirectos

Son enfermedades transmitidas a través de alimentos contaminados por el riego de aguas residuales. Así mismo, los moluscos acumulan virus que pueden ser ingeridos y afectar a los seres humanos. Finalmente, algunos insectos que se reproducen en el agua son transmisores de enfermedades como el paludismo o la fiebre amarilla.³⁰

La susceptibilidad de las personas a estas infecciones depende de una serie de factores como: edad, higiene personal, acidez gástrica (representa una barrera para la mayoría de los patógenos), motilidad intestinal (impide la colonización intestinal al favorecer la eliminación de los microorganismos) y la inmunidad.²⁸

C. Enfermedades relacionadas a la contaminación del agua

Desde el punto de vista de la salud pública es conveniente clasificar las enfermedades relacionadas con el agua.²⁸ Se ha generalizado dividirla en cuatro grupos: transmitida por el agua, vinculadas con la falta de higiene, producidas por contacto con el agua y transmitidas por vectores de hábitat acuático. Un quinto grupo, el de las diseminadas por el agua, se comienza a reconocer en los países desarrollados.³⁰

Las enfermedades transmitidas por contacto con el agua ocurren cuando el agua ha sido contaminada por las heces, sirviendo de hábitat a los agentes patógenos o a los huéspedes intermediarios. La enfermedad se produce cuando las formas larvianas infecciosas se ponen en

contacto con los seres humanos o como consecuencia de la ingestión de esquistosomas de moluscos, crustáceos infectados o peces.³⁰

El siguiente grupo de enfermedades se relaciona a prácticas de higiene deficientes ya que la ruta de transmisión de microorganismos es fecal-oral.³⁰ Este grupo comprende enfermedades gastrointestinales como disentería, giardiasis, hepatitis A y rotavirus, así como enfermedades endémicas clásicas como el cólera y fiebre tifoidea. Algunas de estas pueden ser asintomáticas, ya que se pueden identificar agentes patógenos entéricos en aproximadamente el 30% de los niños sanos sin diarrea. Las enfermedades diarreicas son la causa principal de mortalidad y morbilidad infantil en los países en desarrollo.²⁸ Lo cual contribuye a aumentar la desnutrición, frenando el crecimiento y obstaculizando el desarrollo mental.²⁹

En América Latina y el Caribe, el rotavirus, *Escherichia coli enterotoxígena* (ECET), *Shigella*, *Campylobacter jejuni* y *Cryptosporidium parvum* se encuentran entre los agentes causales más importantes de las enfermedades diarreicas y en algunas áreas la *Salmonella* y *Escherichia coli enteropatógena* (ECEP), son también importantes. Otros agentes patógenos cuya función en la diarrea es mínima en otros países o no está bien definida, comprenden el virus Norwalk, el adenovirus entérico, las bacterias *Aeromonas hydrophila*, *Plesiomonas shigelloides*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Yersinia enterocolítica* y el protozoario *Isospora belli*.³⁰

2.2.8.9 Acceso al agua potable

Agua potable es el agua utilizada para los fines domésticos e higiene personal. Se tiene acceso al agua potable si la fuente de la misma se encuentra a menos de un kilómetro de distancia del lugar de utilización y si la población puede obtener de manera fiable al menos 20 litros diarios para cada miembro de la familia. Además, que cumpla con las características microbianas, químicas y físicas establecidas por las pautas de la OMS o los patrones nacionales sobre la calidad del agua potable.³¹

2.2.8.10 Norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29001

El Congreso de la República el 05 de mayo de 1962, crea por Decreto No. 1523 el Organismo Nacional de Normalización COGUANOR, una entidad adscrita al Ministerio de Economía, cuya principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado.³²

El estudio de la presente norma COGUANOR NTG 29001. “Agua para consumo humano (agua potable)” estuvo a cargo del Comité Técnico de Normalización (CTN), de metodologías microbiológicas, la cual establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.³²

Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano y uso doméstico, proveniente de fuentes naturales que pueden estar ubicadas en una red de distribución, en reservorios o depósitos. Se excluyen el agua purificada envasada y el agua carbonatada, las cuales son cubiertas por normas específicas.³²

Los valores guía según la norma COGUANOR NTG 29001 para verificación de la calidad microbiológica del agua son los siguientes:

- Agua para consumo directo
Coliformes totales y E. Coli - No deben ser detectables en 100 mL de agua.
- Agua tratada que entra al sistema de distribución
Coliformes totales y E. Coli - No deben ser detectables en 100 mL de agua.
- Agua tratada en el sistema de distribución
Coliformes totales y E. Coli- No deben ser detectables en 100 mL de agua.³²

2.3 Marco teórico

La importancia del agua y el saneamiento han quedado reflejados en los documentos finales de diversos foros internacionales sobre políticas, entre los que cabe mencionar, la conferencia internacional sobre atención primaria de salud que tuvo lugar en Alma Ata, Kazajistán en 1978; conferencia mundial sobre el agua de mar de Plata, Argentina de 1977, que dio inicio al decenio internacional del agua potable y del saneamiento ambiental, así como los Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2000 y el documento final de la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible de Johannesburgo de 2002. Recientemente la asamblea general de las naciones unidas declaró el periodo de 2005 a 2015 como Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida”.³³

En cada uno de los foros o cumbres descritos anteriormente se evaluaron los factores de riesgo o agentes que causan la aparición de enfermedades relacionadas con el agua. El análisis de estos factores es primordial para el desarrollo de tratamientos o medidas preventivas.⁸ El proceso para determinar estos factores se apoya en la epidemiología, ya que esta orienta la

búsqueda de causas (factores) que condicionan la presencia o ausencia de una enfermedad con el objetivo de promover adecuadas medidas de intervención que prevendrán la aparición del evento (enfermedad). De acuerdo a este concepto, la epidemiología se basa en la teoría de la causalidad.³³

2.3.1 Teoría de la causalidad

Esta teoría considera que existe una relación entre dos o más acontecimientos. Es decir, la enfermedad no ocurre por azar, no se distribuye homogéneamente y tiene factores asociados para ser causales.³⁴ En el campo de las enfermedades infecciosas la causa suele ser sólo una por lo que la complejidad para determinar la relación causa efecto es menor.

Para poder comprender mejor la teoría de causalidad se presentan y cumplen los siguientes criterios: la temporalidad (toda causa precede a su efecto), la fuerza de asociación, la consistencia de la observación, la especificidad de la causa, el gradiente biológico (efecto dosis-respuesta) y la plausibilidad biológica.³³

En una relación causal pueden identificarse tres elementos:³⁴

- Elemento inicial o causa
- Elemento final o efecto
- Relación entre ambos

Existe varios modelos que pueden ser aplicados a la biología, pero solo mencionaremos los relacionados al tema de interés.

2.3.1.1 Modelo de Koch-Henle

Sugerido por Koch en 1882, en el estudio de la tuberculosis y enfermedades infecciosas. Este conjunto de reglas permite corroborar nuevamente que las enfermedades infecciosas son producidas por un agente causal, estas reglas pueden ser aplicadas al estudio microbiológico de coliformes en agua contaminada y su relación con la incidencia de enfermedades diarreicas. Los principios aplicados para el microorganismo son los siguientes:³⁴

- Debe encontrarse siempre en los casos de enfermedad.
- Podrá ser aislado en cultivo, demostrando ser una estructura viva y distinta de otras que puedan encontrarse en otras enfermedades.

- En cultivo deberá ser capaz de producir la enfermedad en el animal de experimentación.
- Es preciso recuperar el microorganismo a partir del animal e identificarlo.³⁴

2.3.1.2 Modelo de la tríada epidemiológica

El modelo tradicional de causalidad de enfermedades infecciosas transmisibles; relaciona el agente, huésped y el ambiente que provocan la enfermedad.³³ Los componentes esenciales relacionados con la investigación son:

- Agente (coliformes) pueden ser infecciosos o no infecciosos y son necesarios, pero no siempre suficientes, para causar la enfermedad.
- Huésped (personas que consumen agua contaminada) incluye a los sujetos expuestos, susceptibilidad, capacidad de respuesta y sus características de edad, grupo étnico, constitución genética, género, estado socioeconómico y estilo de vida.
- Ambiente (métodos de transporte y almacenamiento, factores contaminantes): engloban al ambiente social, físico y biológico.

Se considera relevante agregar un elemento más a la triada:

- El vector (agua contaminada)³³

La aplicación de esta teoría es la más acertada para la evaluación de enfermedades transmisibles. El estudio actual puede relacionarse con esta teoría.

2.4 Marco conceptual

- Agua: compuesto químico inorgánico estable formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos mediante enlace covalente se caracteriza por ser inodora insípida e incolora.³⁵
- Agua potable: agua limpia, sin contaminación, bacterias u otros agentes degradantes de modo que se considere segura para la población para fines domésticos.³⁶

- Red de distribución de agua: conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos.¹⁸
- Contaminación microbiológica: condiciones en el agua que de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores y afectar la salud humana por la presencia de agentes biológicos como bacterias, virus o protozoos.³⁷
- Coliformes totales: bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, ampliamente distribuidos en la naturaleza y forman parte de la flora intestinal de los seres humanos.³⁸
- *Escherichia coli*: bacilo gramnegativo, no formador de esporas, productor de nitritos, anaerobio facultativo, fermentadora de glucosa.³⁹
- Método de detección bacteriana por filtro de membrana: análisis microbiológico de bacterias indicadores de contaminación fecal, coliformes.⁴⁰
- Casco Urbano: construcciones que se desarrollan dentro de los límites de una ciudad, se caracteriza por estar conformada por un conjunto de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas y en donde se concentra la mayoría de la población y las actividades económicas.⁴¹
- Número de hidrantes: número de tomas o conexiones especiales de la red de distribución hídrica, instalada a cierta distancia, con el propósito de abastecer de agua a varias familias.¹⁹
- Municipio: entidad administrativa que puede agrupar una sola localidad o varias y que puede hacer referencia a una ciudad, pueblo o aldea.⁴²
- Agua de consumo humano: agua en su estado original o después del tratamiento para usos domésticos e higiene personal independientemente de que se suministren al consumidor a través de redes de distribución públicas o privadas.²²

2.5 Marco geográfico

2.5.1 Departamento de Chimaltenango

El estudio se realizará en el departamento de Chimaltenango, el cual presenta las siguientes características geográficas:

- Área y extensión relativa: 1973 kilómetros cuadrados (2% del país)
- Capital del departamento: Chimaltenango
- Ubicación: localizado en la Sierra Madre, rodeado por los departamentos de Baja Verapaz al noreste, Guatemala al este, Sacatepéquez al este, Escuintla al sur, Sololá al oeste y Quiché al noroeste.
- Superficie total: 1979 km²
- Altitud: 1800 metros sobre el nivel del mar
- Clima: templado, frío ⁴³

El departamento de Chimaltenango cuenta con varios ríos, siendo los principales: El Coyolate, Madre Vieja, Pixcayá, Grande o Motagua y Guacalate o de la Virgen. Como secundarios se pueden mencionar los siguientes ríos: Agua Escondida, Xayá, Santo Domingo, Pantaleón, los Encuentros, Nicán y Guxá.⁴³

En lo referente al agua superficial durante la estación lluviosa, de junio a octubre, de moderadas a muy grandes cantidades de agua dulce están disponibles en la parte norte del departamento, proveniente del Río Pixcayá. Estas cantidades se vuelven de pequeñas a moderadas durante la estación seca de noviembre a mayo. Las áreas en el sur del departamento proporcionan pequeñas cantidades de agua durante la estación lluviosa. ⁴³

La mayor parte del departamento se encuentra en la Sierra Madre. El agua subterránea disponible en cantidades de muy pequeñas a grandes proviene de los acuíferos volcánicos, los cuales son apropiados para pozos de bombas manuales y tácticas.⁴³

2.6 Marco demográfico

Para el 30 de junio de 2013, según las proyecciones de población, el número de habitantes del departamento de Chimaltenango fue de 648 615 representando el 4.2% de la población total, estimada para ese año en 15 438 383. La población creció 2.86% entre 2012 y 2013, porcentaje superior a la tasa de crecimiento nacional que fue de 2.32%.⁶ (Anexo 1, gráfica 1.1)

La pirámide muestra gráficamente la composición de la dinámica poblacional atendiendo a la edad y el sexo (Anexo 1, gráfica 1.2), se visualiza que los grupos de edad es mayor la proporción de mujeres, especialmente a partir de los 65 años, donde hay 169 mujeres por cada 100 hombres. Del total de la población 49.0% son hombres y 51.0% son mujeres. A nivel nacional el porcentaje de población que se identifica como indígena es de 40% en tanto que para el departamento de Chimaltenango es de 78.4%; El departamento es mayoritariamente urbano debido a que el 50.8% de la población habita en esta área⁴³ (Anexo 1, gráfica 1.3).

Según las proyecciones de población del departamento de Chimaltenango para 2013, los dos municipios con mayor cantidad de población son Chimaltenango y Tecpán; mientras que el municipio con menor población es Pochuta.⁴³

En 2013 se registraron 15 755 nacimientos en el departamento de Chimaltenango, 0.7% menos que en el 2012. La relación de nacimientos registrados fue de 104 niños por cada 100 niñas. Del total de nacimientos registrados en la república en 2013 (388 440), Chimaltenango aportó el 4.1%.⁴³

En el 2013 la tasa global de fecundidad del departamento fue de 3.2 mayor a la nacional 3.1; además, se registraron 24.3 nacimientos por cada mil habitantes, cifra menor al promedio nacional de 25.8 del total de nacimientos, el 14.1% correspondió a madres menores de 20 años. El departamento muestra una menor proporción de nacimientos en centros hospitalarios, comparado con el porcentaje nacional de 63.1%.⁴³

En los últimos cinco años el índice de analfabetismo en el departamento presentó una tendencia decreciente, pasando de 15.3 en 2009 a 11.8 en 2013.⁴³ (Anexo 1, gráfica 1.4)

El departamento de Chimaltenango presentó en 2011 una disminución de seis puntos porcentuales de pobreza extrema. La pobreza total aumentó en 5.1 puntos porcentuales respecto a 2006. En 2011, Chimaltenango registró una incidencia de 65.6% mayor de pobreza total respecto del promedio nacional (53.7%).⁶ (Anexo 1, gráfica 1.5)

2.7 Marco institucional

El análisis microbiológico del agua proveniente de las redes de distribución de los municipios incluidos en el estudio se llevará a cabo en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y

Microbiológico de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, quienes brindarán capacitación a los investigadores que consistirá en una charla informativa impartida por personal autorizado del laboratorio acerca del material estéril, técnica adecuada de la toma de la muestra, transporte de las mismas mediante hieleras durante las 24 horas de recolectadas las muestras con el objetivo de evitar la contaminación accidental por condiciones inadecuadas durante el momento de obtención y/o envío de la misma y finalmente se obtendrán los resultados del análisis microbiológico.

Para iniciar el trabajo de campo se realizaron cartas y se contactó con los encargados de la información pública de agua y drenajes en la municipalidad y en los centros de salud con los encargados de saneamiento ambiental de los siete municipios a estudiar para poder conocer la localización exacta de los hidrantes públicos en las áreas urbanas por medio de croquis.

2.8 Marco legal

2.8.1 Constitución Política de la República de Guatemala

El agua es considerada un bien que debe proteger el Estado guatemalteco. En la Constitución Política de la República de Guatemala (CPRG), se contempla en diversos artículos:⁶

Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico.

Artículo 121.- Bienes del Estado.

Artículo 127.- Régimen de aguas.

Artículo 128.- Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos.

A estos artículos se suman el Artículo 44, que establece que los derechos y garantías que otorga la Constitución no excluyen otros que, aunque no figuren expresamente en ella, son inherentes a la persona humana; y el Artículo 46, que establece la preeminencia del derecho internacional en materia de derechos humanos sobre el derecho interno.⁶

2.8.2 Legislación específica

Existe normativa ordinaria para el tema ambiental, como la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 27 68-86). La rectoría del tema ambiental la tiene el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), quien debe coordinar con las municipalidades y sector privado del país (artículo 20 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente), para asegurar la sostenibilidad del desarrollo nacional.⁶

Existe normativa que protege a los consumidores (sobre la prestación de servicios), destacando la Ley de Protección al Consumidor y Usuario (Decreto 006-2003), el Reglamento de la Ley de Protección al Consumidor y Usuario (Acuerdo Gubernativo 28 777-2003) y la Ley del Sistema Nacional de la Calidad (Decreto 78-2005).⁶

2.8.3 Código Municipal (Decreto 12-2002 y sus modificaciones)

El Código Municipal otorga a las municipalidades la responsabilidad de los servicios en su municipio, particularmente la cloración del agua (hacerla apta para consumo humano), como se establece en el Artículo 68, que establece las competencias del municipio, entre ellas el “Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato”. La reforma a dicho Código, contemplada en el Decreto 22-2010, agrega: “formular y coordinar políticas, planes y programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de desechos y residuos sólidos hasta su disposición final”. El artículo 142 establece la formulación y ejecución de planes para agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución, así como el alcantarillado y drenajes generales y conexiones domiciliarias.⁶

2.8.4 Código de Salud

El artículo 38 del Código de Salud establece que una de las acciones de prevención para mantener la salud es garantizar agua potable para la población y la disposición adecuada de excretas. Toda la sección II del mismo se refiere a las formas de garantizar acceso y cobertura universal al agua potable, estableciendo la relación entre el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), con el Instituto de Fomento Municipal y otras instancias para promover una “política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable con énfasis en la gestión de las propias comunidades para garantizar el manejo sostenible del recurso.” En la misma ley se establece la obligación de las municipalidades de abastecer de agua potable a las comunidades situadas en su jurisdicción territorial (lo que está contenido también en el Código Municipal).⁶

El 30 de marzo de 2009, el MSPAS emitió el Acuerdo Ministerial 1148-2009, conteniendo el Manual de Normas Sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano, que desarrolla los procesos y métodos de purificación de agua para

consumo humano necesarios para que ésta sea suministrada, en sistemas de abastecimiento, en calidad de potable.⁶

El 22 de junio de 2009 se emitió el Acuerdo Gubernativo 178-2009, Reglamento para la certificación de la calidad del agua para consumo humano en proyectos de abastecimiento, que establece los criterios técnicos y administrativos aplicables al proceso de certificación de la calidad del agua para consumo humano en proyectos de abastecimiento.⁶

2.8.5 Norma Técnica Guatemalteca -COGUANOR NTG 29001

Esta norma establece los límites máximos aceptables y permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, valores microbiológicos, así como las concentraciones de cloro y métodos de análisis bacteriológicos. Se establecen también los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano. Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano y uso doméstico.³²

2.8.6 Ley de aguas

A pesar de estar establecido en la Constitución (artículo 127, régimen de aguas), Guatemala no cuenta con una ley ordinaria para normar el uso del agua, aunque se han presentado 30 iniciativas de ley al Congreso de la República, la más antigua en 1958 y la más reciente en noviembre 2017. De esa cuenta, prácticamente cada municipio tiene su propia reglamentación específica para la protección del servicio público de agua, dentro de su área jurisdiccional territorial.⁶

La ley de aguas no regula (ni se pretende) la situación del acceso a agua potable y saneamiento. Sin embargo, se menciona para ilustrar que no hay regulación del recurso hídrico en el país.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar la calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable en los municipios de Patzicía, Patzún, Zaragoza, Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar y San Andrés Itzapa, del departamento de Chimaltenango, en los meses de mayo y junio de 2018.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Identificar el municipio con mayor proporción de hidrantes públicos contaminados microbiológicamente.

3.2.2 Identificar los hidrantes públicos de los municipios de Chimaltenango que se encuentran contaminados con coliformes totales.

3.2.3 Describir la presencia de *Escherichia coli* en el agua de los hidrantes públicos que abastece a los municipios de Chimaltenango.

4. POBLACIÓN Y MÉTODOS

4.1 Enfoque y diseño de investigación

4.1.1 Enfoque

Cuantitativo

4.1.2 Diseño

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal

4.2 Unidad de análisis y de información

4.2.1 Unidad de análisis

Datos obtenidos de los informes elaborados por el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad San Carlos de Guatemala.

4.2.2 Unidad de información

Muestras de agua recolectada de los hidrantes públicos de los municipios mencionados de Chimaltenango

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población o universo

4.3.1.1 Población diana: hidrantes públicos contenidos en la red de distribución de agua en los municipios ya mencionados.

4.3.1.2 Población de estudio: todos los hidrantes públicos contenidos en la red de distribución de agua que cumplieron con los criterios de selección.

4.3.2 Muestra

Se incluyó la totalidad de los hidrantes públicos que conforman la red de distribución de agua que abastece a cada municipio, de acuerdo a los datos proporcionados por las municipalidades y el departamento de saneamiento ambiental de los distritos de salud.

Los hidrantes públicos de los siete municipios seleccionados se detallan a continuación:

- Zaragoza: 4 hidrantes públicos
- Santa Cruz Balanyá: 7 hidrantes públicos
- El Tejar: 2 hidrantes públicos
- Parramos: 6 hidrantes públicos
- San Andrés Itzapa: 12 hidrantes públicos

- Patzún: 6 hidrantes públicos
- Patzicía: 6 hidrantes públicos

Población total: 43 hidrantes públicos

4.3.2.1 Marco muestral

- Unidad primaria de muestreo: hidrantes públicos de los municipios descritos.
- Unidad secundaria de muestreo: agua obtenida a través de los hidrantes públicos de los municipios seleccionados
- Métodos y técnicas de muestreo: se analizó el total de la población.

4.4 Selección de los sujetos a estudio

4.4.1 Criterios de inclusión

- Hidrantes públicos pertenecientes a la red de distribución de agua en los municipios de Parramos, Patzicía, Patzún, Zaragoza, San Andrés Itzapa, El Tejar y Santa Cruz Balanyá incluidos en los planos proporcionados por el departamento de saneamiento ambiental de cada distrito de salud y municipalidades.
- Hidrantes públicos localizados en el casco urbano.
- Hidrantes públicos de los cuales se obtuvo como mínimo 100 mililitros de agua.

4.4.2 Criterios de exclusión

- Hidrantes públicos que se encontraron en desuso por la población debido a desperfectos de tubería o mantenimiento.
- Hidrantes públicos sin suministro de agua por más de un mes.
- Hidrantes públicos correspondientes a tanques de almacenamiento.
- Muestras que no cumplieron con los requisitos para la toma de las muestras solicitados por el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Boleta de recolección de datos llenadas con la información incorrecta de la muestra o datos incompletos.

4.5. Definición y operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN/ UNIDAD DE MEDIDA
Escherichia Coli	Bacilo gramnegativo de la familia de las enterobacterias que se encuentra en el tracto gastrointestinal de humanos y animales de sangre caliente. ³⁹	Escherichia Coli encontradas en las muestras de agua procesadas en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.	Categoría policotómica	Nominal	COGUANOR NTG 29001: presencia o ausencia de E. coli en 100mL de agua.
Coliformes totales	Bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados; del grupo coliforme forman parte varios géneros: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter ³⁸	Coliformes Totales encontradas en las muestras de agua procesadas en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.	Categoría policotómica	Nominal	COGUANOR NTG 29001: presencia o ausencia de colonias de coliformes totales en 100mL de agua.
Red de distribución de agua	Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. ¹⁸	Tipo de red de distribución de agua.	Categoría dicotómica	Nominal	1. Abierta o ramificada 2. Cerrada o mallada
Municipio	Entidad administrativa que puede agrupar una sola localidad o varias y que puede hacer referencia a una ciudad, un pueblo o una aldea. ⁴²	Localización de sistemas de agua dentro del municipio establecido.	Categoría policotómica	Nominal	Parramos, Patzicia, Patzún, Zaragoza, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanya y El Tejar
Hidrante	Tomas o conexiones especiales de la red de distribución hídrica, instalada a cierta distancia, con el propósito de abastecer de agua a varias familias. ¹⁸	Cantidad total de tomas o conexiones que serán utilizadas para la toma de la muestra de agua potable para su análisis posterior.	Categoría policotómica	Nominal	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

4.6. Recolección de datos

4.6.1. Técnicas

Se identificó la muestra que cumplió con los criterios de selección, luego se localizaron los hidrantes por medio de los croquis proporcionados por las municipalidades y posteriormente se completó el instrumento de recolección de datos.

4.6.2. Procesos

1. Se solicitó de forma personal en las municipalidades y distritos de salud de los municipios a estudio, la ubicación exacta de los hidrantes públicos en el área urbana por medio de croquis. (Anexo 2)

2. Se envió una carta de solicitud dirigida al director del Centro de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) para autorización de una orden de trabajo para procesar las muestras en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

3. Con la carta de autorización del Centro de Investigación, se programó la fecha para toma de muestras con la coordinadora de calidad de Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

4. Se asistió al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, para recibir una capacitación con duración aproximada de 45 minutos, acerca de la forma correcta de recolección de la muestra, su almacenamiento y transporte, la cual fue brindada por personal del laboratorio, llevándose a cabo en las instalaciones del mismo (3° calle 6-47 zona 1) en el horario de atención de lunes a viernes de 7:00-15:00 horas.

5. El costo para el procesamiento de cada muestra de agua fue de Q.99.00, incluyendo un descuento del 10% sobre el costo total (Q. 110.00) por ser estudiantes de la USAC. Inicialmente se realizó un depósito de Q.1 000.00 que corresponde al costo del equipo que fue entregado por el laboratorio. El pago se completó al entregar las muestras de agua recolectadas.

6. Se realizó la recepción de la cristalería esterilizada en donde se recolectó y transportó las muestras de agua, que consisten en envases de plástico, resistentes al calor, de boca ancha con tiosulfato de sodio, el cual es un compuesto inorgánico utilizado para disminuir la actividad bacteriana.

7. Se asistió a los siete municipios seleccionados en el estudio, se completaron los aspectos a evaluar en la primera sección del instrumento de recolección, incluyendo:

municipio donde se tomó la muestra, número de hidrante público asignado previamente por inspectores de saneamiento de cada municipio detallado en croquis correspondiente (Anexo 2) y número de muestra el cual fue asignado por los estudiantes a cargo del estudio de la siguiente manera:

8. Se asignó números correlativos del 1 al 43, correspondientes al total de la población de la siguiente manera: Zaragoza del 1 al 4, Santa Cruz Balanyá del 5 al 11, El Tejar del 12 al 13, Parramos del 14 al 19, San Andrés Itzapa del 20 al 31, Patzún del 32 al 37, Patzicía del 38 al 43. (Anexo 3).

9. Cada integrante del grupo investigador tuvo a su cargo un municipio, asignado de manera aleatoria y solicitó a cada municipalidad el horario en el que los hidrantes públicos abastecen de agua a la población para coordinar su muestreo. (Anexo 3).

10. Cada investigador contó con el equipo necesario (algodón, alcohol isopropílico al 70%, guantes, adhesivo, envase de plástico estéril) para llevar a cabo la toma de la muestra, por lo que se encargó de etiquetar con adhesivo sus recipientes con el número de muestra correspondiente a cada hidrante del municipio a cargo, guantes y mascarilla descartables suficientes para las muestras que tomó, un frasco estéril con torundas de algodón completamente humedecidas con alcohol isopropílico al 70%, recipientes estériles con tiosulfato de sodio necesarios y hielera con hielo seco para mantener la temperatura de las muestras durante el transporte.

11. Antes de tomar la muestra de un hidrante cada investigador se lavó las manos y colocó guantes descartables, quitando cualquier accesorio u objeto que no forme parte del hidrante, luego se limpió con algodón previamente humedecido con alcohol al 70% la superficie del borde interior del hidrante, la profundidad que la misma lo permita y este primer algodón se descartó, con un segundo algodón se limpió el borde exterior del hidrante.

12. Posteriormente se dejó fluir el agua por un minuto y cuando el flujo permaneció constante y mantuvo una presión sin interrupción se acercó con una mano el recipiente y se llenó $\frac{3}{4}$ partes del mismo, 100 mililitros de agua como mínimo, se retiró del flujo de agua y con la otra mano se colocó la tapa de manera hermética evitando riesgo de contaminación, sin colocarlo en ninguna superficie para taparlo ni introducir objetos extraños en la muestra. La toma de muestras fue según lo establecido por las normas de COGUANOR NTG 29 001.

13. Se identificó cada muestra previamente con un número correlativo, ya explicado en el inciso siete, se adjuntó con el instrumento de recolección detallando el número de

muestra, localidad, fuente de captación, punto de muestreo, fecha, hora de recolección y transporte, las cuales se entregaron al laboratorio.

14. El transporte de las muestras se realizó en hielera con hielo seco, manteniendo una temperatura menor a 10°C. El periodo transcurrido entre la toma de la muestra y el traslado no sobrepasó 24 horas para la preservación de las mismas.

15. Las muestras se entregaron al laboratorio el día lunes 07 de mayo de 2018 a las 9:45 horas.

16. El análisis de la muestra en el laboratorio se realizó mediante el proceso de filtración por membrana. Este método de aislamiento bacteriano consiste en:

17. Se procede a realizar las diluciones con agua destilada de 1:10, 1:100 y 1:1000 de la muestra de agua en estudio.

18. Luego se preparan las cajas de petri con tres mililitros de caldo m-ENDO para coliformes totales y caldo m-SC para E. coli. Consisten en caldos lactosados que permiten la detección de crecimiento de estas bacterias específicamente.

19. El caldo Endo es un medio que permite el aislamiento selectivo de los coliformes totales al utilizar inhibidores para el resto de microorganismos. El lauril sulfato y desoxicolato que forman parte de la fórmula del medio permite crecer a los coliformes lactosa positivo pero inhibe el crecimiento del resto de bacterias acompañantes.

20. Se prepara la unidad de filtración con la membrana de filtración y se procede a colocar la dilución 1:1000 de manera que al finalizar la filtración los restos que queden en la membrana, se colocarán en la caja de petri sobre el caldo preparado con anticipación. El mismo proceso se repite para ambos caldos.

21. Posteriormente se llevan a incubación durante 24 horas a una temperatura de 35°C para m-ENDO y 44.5°C para m-SC.

22. Después de 24 horas se evalúan las cajas de petri y se procede al conteo de colonias de bacterias de ser positivo para contaminación el resultado. La fórmula para el conteo es el número de colonias contadas*100/100 ml de agua. Será el resultado final.

23. Se esperó cinco días hábiles para la entrega de los informes de las muestras procesadas en el laboratorio. Los informes en el encabezado llevaban los datos de identificación de la muestra de agua, una tabla especificando la presencia o no de coliformes totales y E. coli en la muestra conjunto a los valores de referencia establecidos por las normas de COGUANOR NTG 29 001, finalmente describe la conclusión del laboratorio y la firma y sello del responsable de validar los resultados.

24. Recepción de los informes por los investigadores y se completó la tercera sección del instrumento de recolección de datos que consiste en las características microbiológicas de la muestra. (Anexo 4).

4.6.2 Instrumento

Se utilizó un instrumento de recolección de datos elaborado por los investigadores, el cual se realizó teniendo el informe de 1993 elaborado por la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), el mismo está conformado por tres secciones principales: (Anexo 4)

1. Las variables identificadas en la sección uno del instrumento de recolección de datos corresponden a los datos generales:
 - Número de muestra
 - Municipio de toma de la muestra
 - Número de hidrantes en el municipio
2. En la sección dos se registrarán las variables relacionadas a la toma de la muestra, las cuales son:
 - Fecha de recolección de la muestra
 - Hora de recolección de la muestra
 - Tipo de sistema de distribución de agua
 - Muestra recolectada por investigador
 - Fecha de procesamiento de la muestra
3. En la sección tres, se expondrán los resultados microbiológicos de la presencia de E. coli y coliformes totales, obtenidos de los informes proporcionados por el laboratorio.

4.7 Procesamiento y análisis de datos

4.7.1 Procesamiento de datos

1. Se ordenaron las fichas de recolección de datos automáticamente en el programa Epi Info TM versión 7.2.2.6
2. Se garantizó la calidad de recopilación de datos verificando que cada ficha fuera adecuadamente llenada e identificada.
3. Se trasladaron datos en Epi Info TM versión 7.2.2.6 para generar la base de datos.

4.7.2 Análisis de datos

1. Se verificó la calidad de información de la boleta de recolección utilizada.

2. Se clasificó según la presencia o ausencia de agentes microbiológicos.
3. Se identificaron los resultados de las muestras que presenten contaminación microbiológica y se clasificaron según lugar y tipo de muestra obtenida para categorizar de manera deductiva.
4. Se ingresó la información en la boleta de datos realizada en Epi Info TM versión 7.2.2.6
5. A través de Epi Info TM se calcularon y analizaron proporciones y porcentajes de los datos encontrados en la base de datos elaborada.
6. A las variables de tipo categórico se les realizó un análisis univariado descriptivo.
7. Se realizaron gráficas estadísticas.
8. Con base al análisis y cálculos estadísticos se plantearon las conclusiones.

4.8 Alcances y límites de la investigación

4.8.1 Obstáculos

Debido a que el estudio se realizó en el departamento de Chimaltenango existen diversos factores que afectan para la elaboración de la investigación, el más importante es la ubicación de los hidrantes para la toma de muestras, algunos de los cuales fueron de difícil acceso por el mal estado de las carreteras. Otro aspecto a considerar fue el elevado costo económico del análisis de cada muestra (Q100.00), el cual fue asumido por cada uno de los integrantes quienes aún no cuentan con un trabajo remunerado. Además, la falta de información pública en el área de salud de Chimaltenango, de la ubicación y cantidad de sistemas de agua que existen en los diferentes distritos, son algunas de las situaciones desfavorables que se presentaron durante la elaboración de esta investigación.

En lo referente al enfoque cuantitativo de la investigación, no se tomó en cuenta ningún aspecto subjetivo acerca del tema, se desconoció qué factores se consideran contaminantes para el agua en los siete municipios, por ejemplo, si la población se encuentra en conformidad con el abastecimiento y tratamiento del agua, entre otros. Por el diseño prospectivo del estudio fue necesario que los investigadores generaran la información para su análisis por ser una investigación descriptiva, sólo se indicó la presencia o no de contaminación microbiológica, sin comparar, ni analizar causas de contaminación, eficacia de tratamiento y potabilización ni calidad de abastecimiento o relación con enfermedades. Debido a que el estudio es de corte transversal, se realizó

una única medición en cada hidrante, de los siete municipios incluidos establecidos por conveniencia del grupo investigador, por lo que se desconoció cómo este fenómeno puede variar por las estaciones climáticas (época lluviosa o seca), por un periodo más prolongado u otros factores que pueden alterar la calidad del agua.

4.8.2 Alcances

El agua se considera recurso vital para el ser humano, sin embargo, por los múltiples usos que se le da, es susceptible a ser contaminada por agentes microbiológicos y de esta manera ser la causa y el medio de propagación de diversas enfermedades, principalmente enfermedades diarreicas, aumentando la morbilidad en la población que la consume, con mayor afección a la población menor de cinco años de edad.

El proceso para determinar la polución del agua se apoya en la epidemiología, la cual se basa en la teoría de la causalidad, considerando que existe una relación entre dos o más acontecimientos que causan enfermedad. Entre los postulados a la teoría de la causalidad se encuentran el Modelo de Koch-Henle, en el cual las enfermedades infecciosas son producidas por un agente causal; y el postulado de la tríada epidemiológica, el cual explica que existe una interacción entre agente, hospedero y ambiente que provocan la enfermedad. La aplicación de esta teoría es la más acertada para la evaluación de enfermedades transmisibles relacionadas con el agua.

El estudio determinó la calidad microbiológica del agua de los sistemas de distribución, las muestras que se obtuvieron de los hidrantes públicos permitió determinar si existe presencia de coliformes totales o E. coli en la red de distribución de los siete municipios en un tiempo estimado de dos meses en el año 2018.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que permitió la medición objetiva de variables de interés. El diseño de la investigación por su cronología fue prospectivo ya que la información que se analizó fue obtenida de los resultados del procesamiento de muestras recolectadas, según su propósito fue un estudio descriptivo y por las mediciones que se llevaron a cabo fue una investigación de corte transversal ya que su duración dependió del tiempo en que se recolectaron, procesaron y analizaron las muestras. Por lo que se consideró una investigación que aporte información a futuro para ser utilizada como marco de referencia y brindar sugerencias para la toma de decisiones en relación al tratamiento y potabilización del agua.

4.9 Aspectos éticos de la investigación

4.9.1 Principios éticos generales

La ética es fundamental en un trabajo de investigación, sin embargo, ya que nuestra muestra no está enfocada en una población humana no es necesario el consentimiento informado de cada participante. Según las pautas Internacionales para la evaluación de ética, existen los principios éticos aplicados a la epidemiología y a la comunidad. La población a estudio fueron hidrantes públicos por lo que se solicitó autorización previa a las autoridades sanitarias de cada municipio, la localización dentro de la comunidad y se informó acerca del proyecto que se realizó con dichas muestras. No se expuso a ningún tipo de riesgo a la población y los resultados obtenidos estarán disponibles públicamente y serán comunicados al personal sanitario para su conocimiento. Se respetaron las costumbres y creencias de las comunidades. El propósito fue descubrir posibles riesgos presentes en las comunidades para notificarlos, corregirlos y se abogó por el restablecimiento de la salud.

4.9.2 Categoría de riesgo

Categoría I (sin riesgo): se obtuvieron muestras de hidrantes públicos por lo que no se utilizó ningún método invasivo en las personas. La investigación utilizó la técnica observacional sin realizar ningún tipo de modificación intervencional en las variables fisiológicas, psicológicas, o sociales de las personas.

5. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos en los municipios de El Tejar, Parramos, Patzicía, Patzún, San Andrés Itzapa, Santa Cruz Balanyá y Zaragoza del departamento de Chimaltenango durante los meses de mayo y junio 2018, para determinar la calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable. Se estudiaron 43 muestras de agua provenientes de los hidrantes públicos, todos con sistema abierto, las cuales fueron recolectadas por los investigadores y analizadas por el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se utilizó el método de filtración por membrana para realizar el aislamiento bacteriano de coliformes totales y *E. coli*, basándose en la norma COGUANOR NTG 29001, la cual establece como límite máximo permisible que no debe detectarse la presencia de ninguno de los microorganismos indicadores de contaminación fecal en 100 ml de agua para satisfacer los criterios microbiológicos y ser considerada como agua apta para consumo humano.

Los resultados ingresados al programa Epi Info TM versión 7.2.2.6 y posteriormente se calcularon porcentajes, de acuerdo a la información obtenida en el instrumento de recolección de datos.

Tabla 1. Hidrantes públicos de Chimaltenango sanitariamente seguros para consumo humano, mayo-junio de 2018. **n = 43**

Municipio	Agua potable n	%	Agua no potable n	%
El Tejar	1	50	1	50
Parramos	5	83.33	1	16.67
Patzicía	1	16.67	5	83.33
Patzún	0	0	6	100
San Andrés Itzapa	1	8.33	11	91.67
Santa Cruz Balanyá	0	0	7	100
Zaragoza	1	25	3	75
Total	10	23.26	33	76.74

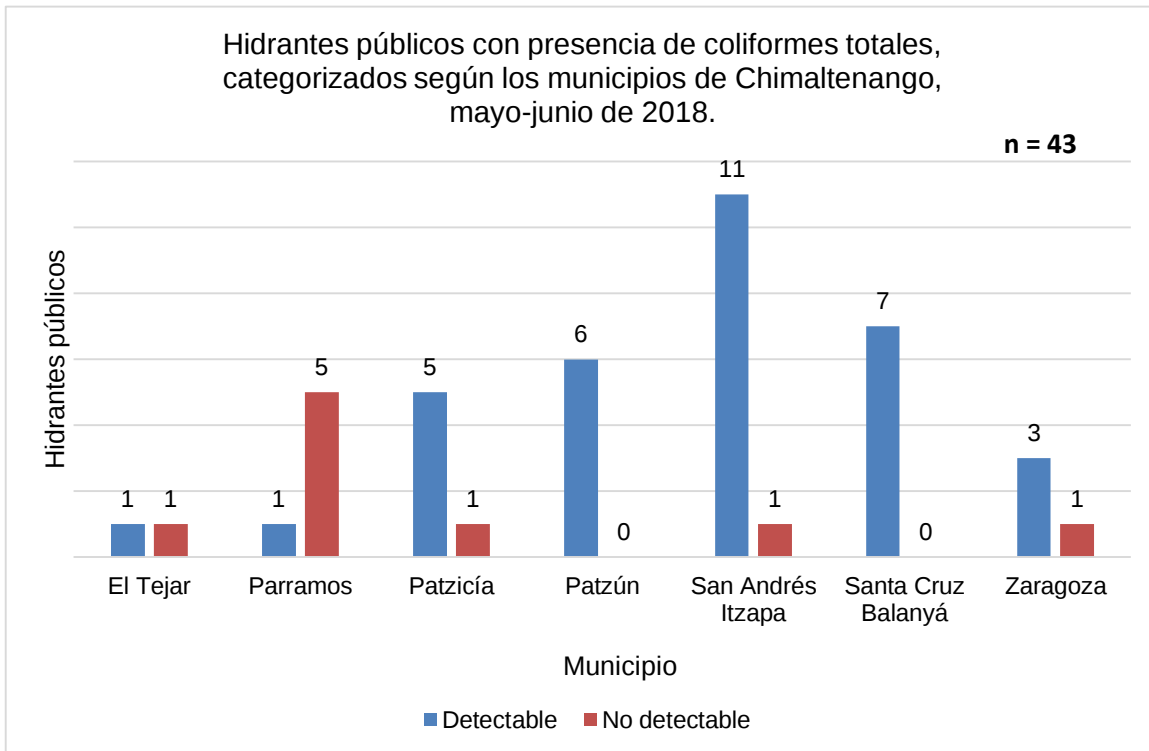
Tabla 2. Hidrantes públicos de Chimaltenango con presencia por coliformes totales, mayo-junio de 2018.

Coliformes totales	n	%
detectable	33	76.74
no detectable	10	23.26
Total	43	100.00

Tabla 3. Hidrantes públicos de Chimaltenango que presentan contaminación por *Escherichia coli*, mayo-junio de 2018.

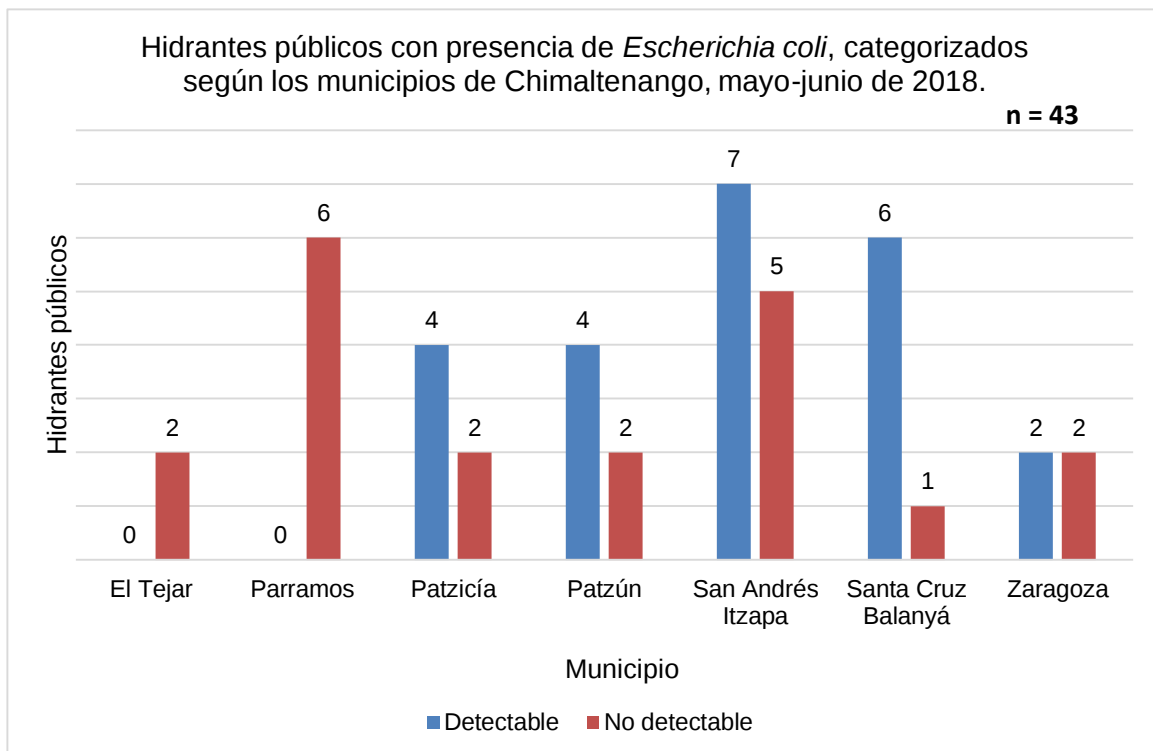
<i>Escherichia coli</i>	n	%
si	23	53.49
no	20	46.51
Total	43	100.00

Gráfica 1.



Fuente: Boleta de recolección de datos

Gráfica 2.



Fuente: Boleta de recolección de datos

Tabla 4. Hidrantes públicos de El Tejar con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia coli</i>
Santo Domingo	detectable	no detectable
Pila colorada	no detectable	no detectable

Nota: * El 50% de hidrantes contaminados.

Tabla 5. Hidrantes públicos de Parramos con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*, Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia coli</i>
Unión	no detectable	no detectable
La Paz	detectable	no detectable
Chiquera	no detectable	no detectable
Paxan	no detectable	no detectable
El Campo	no detectable	no detectable
La democracia	no detectable	no detectable

Nota: * El 16.67% de los hidrantes contaminados.

Tabla 6. Hidrantes públicos de Patzicía con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*, Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia coli</i> **
Los Gómez	detectable	detectable
Quinta calle	detectable	detectable
San Gabriel	detectable	no detectable
Xesiguán	no detectable	no detectable
El tunal	detectable	detectable
Zona 3	detectable	detectable

Nota: El *83.33%; **66.67% de hidrantes contaminados.

Tabla 7. Hidrantes públicos de San Andrés Itzapa con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales	<i>Escherichia coli</i>
Calzada Ju	detectable	no detectable
San Cristóbal	detectable	no detectable
Bethesda	detectable	no detectable
Frente al estadio	detectable	detectable
San Cristóbal	detectable	detectable
Pila del llano	detectable	detectable
Esquina Carina	detectable	detectable
Calle principal	detectable	detectable
Hermano Pedro	detectable	detectable
Pila del mercado	detectable	Detectable
San Pedro	detectable	no detectable
San Pablo	no detectable	no detectable

Nota: El *91.67%; **58.33% de los hidrantes contaminados

Tabla 8. Hidrantes públicos de Zaragoza con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*, Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia coli</i> **
El salitre	detectable	Detectable
Municipal I	no detectable	no detectable
Municipal II	detectable	detectable
Municipal IV	no detectable	detectable

Nota: El *50%; **75% de hidrantes contaminados.

Tabla 9. Hidrantes públicos de Patzún con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia Coli</i> **
El quetzal	detectable	detectable
Los patales	detectable	no detectable
PNC	detectable	detectable
El arco	detectable	detectable
El convento	detectable	no detectable
El ciprés	detectable	detectable

Nota: El *100%; **66.67% de hidrantes contaminados.

Tabla 10. Hidrantes públicos de Santa Cruz Balanyá con presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Chimaltenango, mayo-junio de 2018.

Hidrante	Coliformes totales*	<i>Escherichia coli</i> **
La unión 1	detectable	detectable
La unión 2	detectable	no detectable
La unión 3	detectable	detectable
La libertad	detectable	detectable
La independencia 1	detectable	detectable
La independencia 2	detectable	detectable
La independencia 3	detectable	detectable

Nota: El *100%; **85.71% de hidrantes contaminados.

6. DISCUSIÓN

El agua es en un tema de interés para la salud pública debido a que es un factor esencial para el bienestar y desarrollo del ser humano.¹ En ese mismo sentido, la calidad microbiológica de los recursos hídricos debe verificarse mediante métodos de detección de microorganismos indicadores de contaminación fecal, como lo son las bacterias del grupo coliformes y *E. coli*,²² para garantizar que las comunidades se abastezcan de agua potable.

Sin embargo, Chimaltenango es uno de los departamentos con menor cobertura en saneamiento y abastecimiento de agua potable a nivel nacional,⁴ además de existir escasa información actualizada respecto a la calidad microbiológica del agua en dicho departamento, habiéndose realizado el último estudio en 2006 en el municipio de Zaragoza por Cardenas. Por lo anteriormente mencionado se decidió realizar el trabajo de investigación en Chimaltenango, evaluando las características microbiológicas de 43 hidrantes públicos. Se determinó que el recuento de microorganismos presentes en las muestras de agua fue mayor al límite máximo permisible establecido por COGUANOR NTG 29 001 para catalogarse como agua potable, demostrándose que el 77% de las muestras presentaron contaminación microbiológica con coliformes totales y/o *E. coli*, lo que indica que tan solo el 23% son aptas para el consumo humano.

De los hidrantes libres de contaminación, cinco pertenecen a Parramos, colocándolo como el municipio con menor grado de contaminación de su recurso hídrico. Al contrario de los municipios de Patzún y Santa Cruz Balanyá, en donde la totalidad de las muestras presentaron microorganismos indicadores de contaminación fecal.

La calidad microbiológica del agua puede variar con gran rapidez debido a que los sistemas de distribución son propensos a presentar fallos ocasionales, resultando oportuno mencionar que al recolectar las muestras se observó deficiencias en los sistemas de abastecimiento del agua en los siete municipios estudiados, tales como la integridad de las tuberías y los alrededores en donde se encuentran ubicados los hidrantes públicos, los cuales al estar cercanos a vertederos de residuos sólidos y aguas negras, predisponen a la contaminación del agua.

En este propósito la OMS establece que para evitar la corrosión de los materiales de las tuberías y la formación de depósitos, deben implementarse medidas de limpieza y

mantenimiento de los sistema de distribución con el objetivo de mantener la capacidad corrosiva en valores que eviten dañar los materiales estructurales y el consumo de desinfectante.⁴⁴

Cardenas en 2016 realizó análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua en Zaragoza, Chimaltenango, determinando que los parámetros fisicoquímicos si cumplen con lo requerido por COGUANOR NTG 29001. Sin embargo las características microbiológicas no cumplieron con dicha norma al demostrarse que el 70% de las muestras presentaron contaminación por E. coli y el 20% por coliformes totales; concluyendo que solo el 30% de las muestras fueron consideradas como agua potable. En este estudio se estableció que el 50% y 75% de las muestras reportaron coliformes totales y E. coli, respectivamente; mostrando que únicamente el hidrante Municipal I es seguro para consumo humano. Los resultados son comparables con el estudio de Cárdenas al concluirse que solo el 25% de los recursos hídricos del municipio se reportaron como agua potable.¹⁶

Sobre la base de las consideraciones anteriores, es posible observar que desde hace dos años el agua de Zaragoza se encuentra en similares condiciones a las actuales, por lo que es necesario implementar estrategias para mejorar su potabilidad y cumplir con lo requerido por las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, donde se menciona que la mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud, debiéndose realizarse el máximo esfuerzo para lograr la inocuidad del agua de consumo humano.⁴⁴

Por otra parte, en Puerto Barrios, Izabal, De la Peña determinó que las muestras de agua recolectadas no cumplen con las especificaciones de COGUANOR NGO 29 001 para agua potable al detectarse presencia de coliformes totales en el 100%. De la Peña concluyó que el agua de Puerto Barrios no es sanitariamente segura, lo cual también ocurre en Chimaltenango en donde el 77% de los hidrantes no son aptos para el consumo humano por encontrarse contaminados por coliformes totales.¹¹

En la aldea La Faja del municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa se determinó que la totalidad de las muestras de agua se encontraban contaminadas por coliformes totales y E. Coli, y posteriormente a realizar limpieza del pozo y cloración periódica, se estableció que solo dos muestras incumplían con la norma COGUANOR, demostrándose que las técnicas de tratamiento y cloración mejoran los parámetros micriobiológicos del agua. De los planteamientos anteriores se deduce que los resultados obtenidos en Chimaltenango indican que las técnicas de coloracion son deficientes, ya que en El Tejar, Parramos, Patzicía, San Andrés Itzapa y Zaragoza el 50%,

83.33%, 16.67%, 8.33% y 25% de los hidrantes contienen agua no potable,¹⁵ repercutiendo en la potabilidad del agua que abastece el casco urbano de estos municipios, y predisponiendo a la población a contraer enfermedades.

En el departamento de El Quiché se determinó que el agua que abastece al municipio de Patzité, no es potable al no cumplir con los parámetros bacteriológicos establecidos por COGUANOR NGO 29 001, debido a que en el 60% de las muestras se detectó E. Coli y 63% presentaron coliformes totales. En relación con ese estudio, en Chimaltenango se reportó que el 77% de los hidrantes fueron positivos para coliformes totales y el 53% de los hidrantes presentaban E. Coli, observándose claramente que el porcentaje de contaminación microbiológica del agua es similar en ambos departamentos, a pesar de encontrarse en áreas distintas del país, indicando que no se cumple correctamente el proceso de desinfección y cloración del agua.¹³

Cabe agregar que los valores microbiológicos son aceptables cuando el recurso hídrico cambia mediante aplicación de técnicas de tratamiento. Esto fue demostrado por Manes y Sarg, quienes analizaron muestras seriadas por cada expendio de agua ubicado en zona 5 y zona 18 de la ciudad capital de Guatemala, las cuales no cumplían los parámetros establecidos por COGUANOR. Sin embargo el agua pura envasada analizada en cada expendio fue sometida a tratamientos para hacerla apta para consumo humano.¹⁷

En Chimaltenango el porcentaje de muestras contaminadas con E. coli y coliformes totales fue del 77%, que es congruente con los resultados que reporta el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el cual establece que en el país cerca de la mitad de la población no tiene servicio de agua potable en su vivienda. De los 18,800 sistemas de suministro de agua muestreados por el programa de vigilancia del MSPAS en 2008, más del 50% no contenía niveles adecuados de cloro, debido a que más del 60% de la población no aplica ningún tratamiento al agua para beber.⁴⁵

Ante la situación planteada, es evidente que el agua en las redes de distribución de agua potable de distintos lugares de Guatemala se encuentra contaminada con bacterias coliformes y E. coli, sobrepasando los parámetros aceptables para el consumo humano establecidas por COGUANOR NTG 29001. Por lo tanto se debe implementar medidas correctivas en mantenimiento a los sistemas de distribución de agua de los municipios, recomendándose el proceso de cloración por ser el método más efectivo, económico y seguro.⁴⁴

En comparación de la prevalencia que existe en Colombia, detallada en un estudio realizado sobre la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá, el cual presentó que en 14 de las 36 casas seleccionadas y en las 15 de redes de alcantarillado a cielo abierto se encontró contaminación de origen fecal.¹⁴ Resulta oportuno mencionar que para la detección bacteriana del agua en Colombia se utilizó el método de filtración por membrana, el mismo utilizado en la presente investigación, el cual al ser un método estándar y altamente reproducible puede usarse para analizar volúmenes de muestras relativamente grandes, permitiendo obtener resultados en un tiempo menor de 24 horas.

En los marcos de las observaciones anteriores, es evidente la inseguridad sanitaria que presentan los recursos hídricos del país demostrada por la presencia de coliformes totales y E. coli, atribuible a la falta de mantenimiento de las redes de distribución que abastecen a las comunidades; por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de desinfección que permita mejorar la potabilidad del agua que consume la población guatemalteca para garantizar la salud. Con el fin de ayudar a las autoridades locales la OMS con un grupo de expertos redactó un folleto titulado “agua y salud” en donde se menciona que las autoridades locales son responsables de cumplir los reglamentos sanitarios, monitorear los procesos de tratamiento de agua potable, monitoreo de la situación ⁵ Y recomienda que la limpieza de los tanques de distribución se debe hacer como mínimo cada seis meses, utilizando cloro para desinfectar y herramientas exclusivas para la limpieza de los mismos.¹⁶

Como fortalezas que aporta la presente investigación, se da a conocer la situación microbiológica del agua con base a las muestras recolectadas en los municipios de Chimaltenango, los cuales debido a la técnica de recolección y método de detección bacteriana son fácilmente reproducibles, permitiendo realizar una vigilancia sanitaria del agua que abastece a la población, de manera que se puedan prevenir enfermedades relacionadas con este recurso. En contraposición, entre las debilidades encontradas, se menciona que el estudio fue descriptivo, no siendo posible el establecer la relación de los agentes contaminantes con la incidencia de enfermedades gastrointestinales además por recursos económicos no realizó el análisis en todo el departamento, sin embargo se considera esta investigación como punto de inicio para futuros estudios y planes de acción para beneficio de la población.

7. CONCLUSIONES

1. La calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable de los municipios del departamento de Chimaltenango, no se considera sanitariamente segura para el consumo humano, ya que el 76.74% del total de muestras analizadas no cumplen con los parámetros establecidos por COGUANOR NTG 29 001.

2. Santa Cruz Balanyá y Patzun fueron los municipios con mayor proporción de hidrantes públicos catalogados con agua no potable, al identificarse coliformes totales y E. coli en todas las muestras.

3. La contaminación de los hidrantes públicos de Chimaltenango por coliformes totales corresponde al 76.74%.

4. La contaminación de los hidrantes públicos de Chimaltenango por E. coli corresponde al 53.49%.

5. El 83.33% de los hidrantes públicos de Parramos abastecen de agua potable a la población del mismo.

8. RECOMENDACIONES

A las municipalidades de Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar, Patzicía, Patzún, Zaragoza, San Andrés Itzapa:

- Establecer un plan de acción para mejorar la calidad microbiológica los hidrantes públicos que actualmente distribuyen agua no potable en los municipios y ofrecer a la población un recurso hídrico sanitariamente seguro.

A encargados de agua y saneamiento ambiental de áreas de salud Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar, Patzicía, Patzún, Zaragoza, San Andrés Itzapa:

- Mejorar la estructura de los hidrantes públicos para que se encuentren en óptimas condiciones, y evitar que el agua se contamine durante el transporte y distribución a los consumidores.
- Establecer un programa de divulgación sobre desinfección y tratamiento del agua para informar a la población la importancia sanitaria que conllevan las enfermedades gastrointestinales y como prevenirlas.
- Verificar el cumplimiento del control de calidad del agua con la frecuencia establecida en cada localidad según manuales de vigilancia sanitaria.

A la Coordinación de Trabajos de Graduación -COTRAG- y futuros investigadores

- Dar seguimiento a los resultados obtenidos y determinar cuáles son los factores contaminantes en las fuentes hídricas de Chimaltenango y su relación con la incidencia de enfermedades transmitidas por agua contaminada.
- Realizar un análisis físicoquímico del agua que permita contar con información de todas las variables que determinan la calidad del agua y potabilidad (físico, químico y microbiológico), para que no represente un riesgo para la salud del consumidor y establecer si cumple con lo requerido por COGUANOR.

A la población de Santa Cruz Balanyá, Parramos, El Tejar, Patzicía, Patzún, Zaragoza, San Andrés Itzapa

- Informarse sobre las técnicas de purificación de agua recomendadas, y evitar la contaminación por agentes patógenos durante el transporte y almacenamiento mediante la implementación de técnicas de manipulación adecuadas.

9. APORTES

El presente estudio aporta información que permite conocer la calidad microbiológica del agua potable de Chimaltenango durante el mes de mayo a junio del año 2018; por medio del análisis de muestras recolectadas que se obtuvieron de los hidrantes públicos de los municipios incluidos en este estudio; permitirá tener una base y un conocimiento actual para mejorar la vigilancia epidemiológica y el control de la calidad de agua potable del departamento de Chimaltenango, mejorar la prevención de la polución del agua y el control de enfermedades hídricas.

Se divulgan los resultados por medio de informes escritos enviados vía electrónica a cada municipalidad pertinente, con la finalidad de poner a disposición información certera y confiable que pueda utilizarse como base para el mejoramiento en el tratamiento del agua potable. Así mismo se envió un ejemplar del estudio al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del área de Chimaltenango para generar acciones en pro de la población de Chimaltenango.

La presente investigación podrá promover nuevas investigaciones, para profundizar el análisis de la red de distribución de agua potable de Chimaltenango. Por lo que la metodología utilizada en esta investigación puede genera hipótesis para el mapeo de comunidades que puedan llegar a participar en el estudio. Además, este estudio puede extenderse a otros municipios de Guatemala para extender la vigilancia epidemiológica del país.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Mundial de la Salud. Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. [en línea]. Ginebra: OMS; 2004 [consultado 26 ene 2018]. Disponible en: goo.gl/rLpi1K
2. Organización Mundial de la Salud. Agua. [en línea]. Ginebra: OMS; 2017 [consultado 26 ene 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
3. Organización Panamericana de la Salud. Agua y Salud. Calidad de agua y salud pública. [en línea]. Washington D.C: OPS; 2013 [consultado 26 ene 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/aguasa.pdf>
4. Guatemala. Procuraduría de los Derechos Humanos. Nota conceptual: el acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala. [en línea]. Guatemala; 2014 [consultado 26 ene 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/q8UnDw>
5. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Rev Virt Pro [en línea]. 2004 [consultado 26 ene 2018]; 1 (2): 35-40. Disponible en: <https://www.revistavirtualpro.com/revista/el-agua-potable/35>
6. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Coliformes totales y E. Coli por el método NMP [en línea]. Colombia; 2007 [consultado 27 ene 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/R3p11V>
7. Organización Panamericana de la Salud. Relación del saneamiento básico con el desarrollo, la salud y la educación en Guatemala. [en línea]. Washington D.C: OPS; 2010 [consultado 26 ene 2018]. Disponible en: <http://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/Sanemiento-Capitulo2.pdf>
8. Gudiel H R. Determinación de la Calidad del agua para consumo humano y uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula [tesis Ingeniero Químico]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 1996.

9. Gramajo B. Determinación de la calidad del Agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala [tesis Químico Biólogo]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2004.
10. Roldán A. Determinación de la calidad físico química y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa [tesis Químico Biólogo]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2006.
11. De la Peña Orellana E V. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en Puerto Barrios, Izabal [tesis Química Farmacéutica en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2006. [consultado 28 ene 2018] Disponible en: <https://goo.gl/uppCvb>
12. Pensamiento J. Determinación de la calidad de agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, Departamento de El Progreso [tesis de Química Bióloga]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2011.
13. Guix Baquix A L. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de distribución municipal en Patzité, Quiché [tesis Química Farmacéutica en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2014. [consultado 20 jun 2018] Disponible en: <https://goo.gl/GAhrHd>
14. Venegas C, Mercado M, Campos C. Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá. Rev Biosalud [en línea]. 2014 [consultado 20 jun 2018]; 13(2): 24-35. Disponible en: <https://goo.gl/NjBVG1>
15. Escobar Chupina A P. Evaluación de la calidad fisicoquímica y análisis microbiológico del agua del pozo municipal ubicado en la Aldea de La Faja, Chiquimulilla, Santa Rosa [tesis Química Farmacéutica en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2015 [consultado 20 jun 2018] Disponible en: <https://goo.gl/AyZQd1>

16. Cardenas Garrido J. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable que se distribuye en Zaragoza, Chimaltenango [tesis Químico Farmacéutico en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2016. [consultado 20 jun 2018]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1411.pdf>
17. Manes Artola P A, Sarg Folgar D. Análisis microbiológico y fisicoquímico del agua pura que se expende en dos zonas de la ciudad capital de Guatemala [tesis Químico Farmacéutico en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2016. [consultado 20 jun 2018]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QB1169.pdf>
18. Escuela de Organización Industrial. Redes de distribución. [en línea] Madrid, España; 1987. [consultado 27 ene 2018]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/18411/download?token=gX0xQ45Q>
19. Organización Mundial de la Salud. Agua segura a través de sistemas de distribución. [en línea] Ginebra: OMS; 2014. [consultado 8 feb 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/q1ZuJH>
20. Water research commissions. Operación y mantenimiento de los sistemas de distribución de agua. [en línea] África del Sur; 2014. [consultado 8 feb 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/5tffS1>
21. . México. Comisión Nacional de Agua. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. [en línea] México: 2016. [consultado 27 ene 2018.] Disponible en: <https://goo.gl/Z5UePR>
22. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable . [en línea] Tercera edición, primer apéndice Vol. 1, Ginebra: Suiza , 2006. [consultado el: 27 de ene 2018.]. Disponible en: <https://goo.gl/uwPZp9>
23. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Acuerdo ministerial no. 1148 09 Manual de Normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: Ministerio de Salud y Asistencia Social; 2009. [consultado el: 27 ene 2018]. Disponible en: <http://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/AcuerdoMinisterial1148-09.pdf>

24. Paez L J. Validación Secundaria del Método de Filtración por Membranas para la detección de Coliformes y E. Coli en muestras de agua para consumo humano [tesis Microbiología Industrial]. Colombia: Universidad Javeriana, Facultad Química y Farmacia; 2008.
25. Fundacion General de la Universidad de Salamanca. Recuento de coliformes totales. Filtración a través de membrana. [en línea]. España; 2018 [consultado 25 ene 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/xvY6Cc>
26. Agua recurso natural y elemento de desarrollo . [en línea]. Estados Unidos; 2010 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <https://goo.gl/EUvUj8>
27. Gleick P H. Earth's water distribution U.S Geological Survey. [en línea]. Estados Unidos; 2010 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>
28. Baroni L. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production system [en línea]. Baltimore; 2006 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <http://www.nature.com/ejcn/journal/v61/n2/full/1602522a.html>
29. Jeffrey U. La contaminación del agua. MadSci Network [en línea]. Washington; 2000 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <https://goo.gl/pam2p1>
30. Valtin H. Departamento de Fisiología. Medical School [en línea]. Dartmouth; 2002 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <http://ajpregu.physiology.org/content/283/5/R993.full>
31. Almirón E. El agua como elemento vital en el desarrollo del hombre. Observatorio de Políticas Públicas de Derechos Humanos MERCOSUR [en línea]. Montevideo; 2006 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <https://goo.gl/aPHqHn>
32. Guatemala. Ministerio de Economía. Comisión guatemalteca de normas. Norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG29001. Agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: Ministerio de Economía; 2010. [consultado 21 nov 2017]. Disponible en: <https://goo.gl/iELGzD>

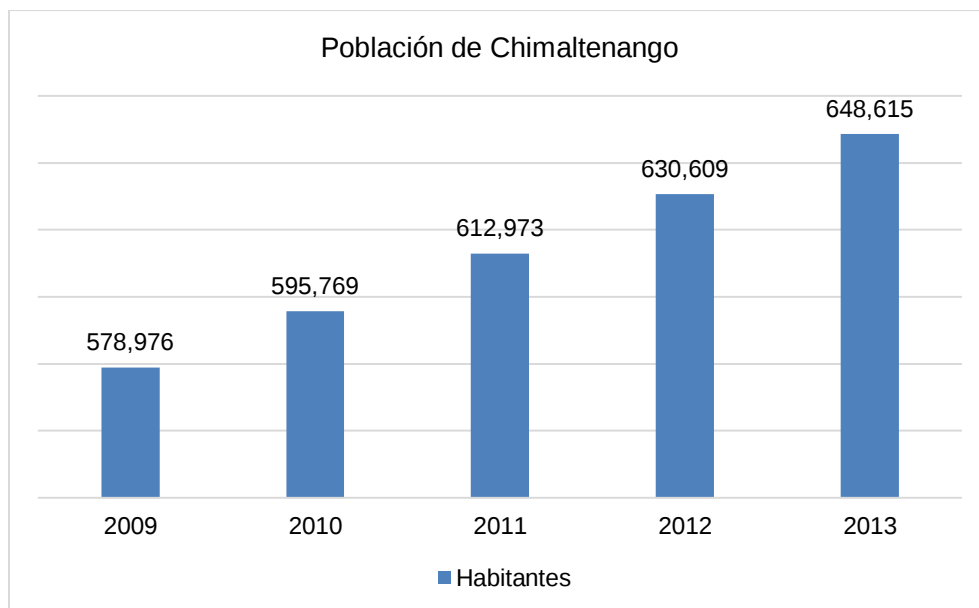
33. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Informe sobre desarrollo humano. Más allá de la escasez: poder, pobreza y la crisis mundial del agua [en línea]. Estados Unidos: PNUD; 2006 [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2006_es_completo.pdf
34. Aguiar P, Cepero Martin J, Coutin G. La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba [en línea]. Habana, Cuba; 2006 [consultado 19 nov 2017]; 1 (3): 1028-4338. Disponible en: https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/rpsp/v7n5/2363.pdf
35. Concepto Definición online [en línea]. Venezuela; 2014 [consultado 7 feb 2018]. Disponible en: <http://conceptodefinicion.de/agua/>
36. Djoghla A. Convenio sobre diversidad biológica. Agua potable, diversidad biológica y desarrollo [en línea] Canada; 2010 [consultado 18 feb 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/E2iz9m>
37. Contaminación de aguas. Principales contaminantes [en línea] Autorizaciones de vertido de aguas residuales, noviembre de 2011. [consultado 19 nov 2017]. Disponible en: <https://goo.gl/iUgBF6>
38. Enviroment agency. Importancia de los coliformes en los alimentos. [en línea] Uruguay. [consultado 7 feb 2018]. Disponible en: <https://goo.gl/chbS3a>
39. Organización Mundial de la Salud. Escherichia Coli. [en línea] Ginebra, Suiza; 2017. [consultado 27 ene 2018] Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs125/es/>.
40. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Rev Virt Pro [en línea]. 2004 [consultado 26 ene 2018]; 2 (2): 35-40. Disponible en: <https://www.revistavirtualpro.com/revista/el-agua-potable/35>
41. Spanish Oxford living dictionaries. online [en línea]. Oxford University; 2018 [consultado 5 mar 2018]. Disponible en: goo.gl/DpyCVk

42. WordReference online [en línea] España; 2005. [consultado 27 ene 2018] Disponible en: <http://www.wordreference.com/definicion/municipio>
43. Guatemala. Instituto nacional de estadística. Caracterización departamental Chimaltenango. [en línea] Guatemala: INE; 2013 [consultado 21 nov 2017] Disponible en: <https://goo.gl/aotxtp>
44. Guatemala. Procuraduría de los Derechos Humanos. El acceso al agua potable como un derecho humano en Guatemala [en línea] Guatemala: PDH; 2004 [consultado 21 nov 2017] Disponible en: <https://goo.gl/Udkhfu>
45. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala. [en línea]. Guatemala: MARN; 2012. [consultado 20 jun 2018]. Disponible en: <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>

11. ANEXOS

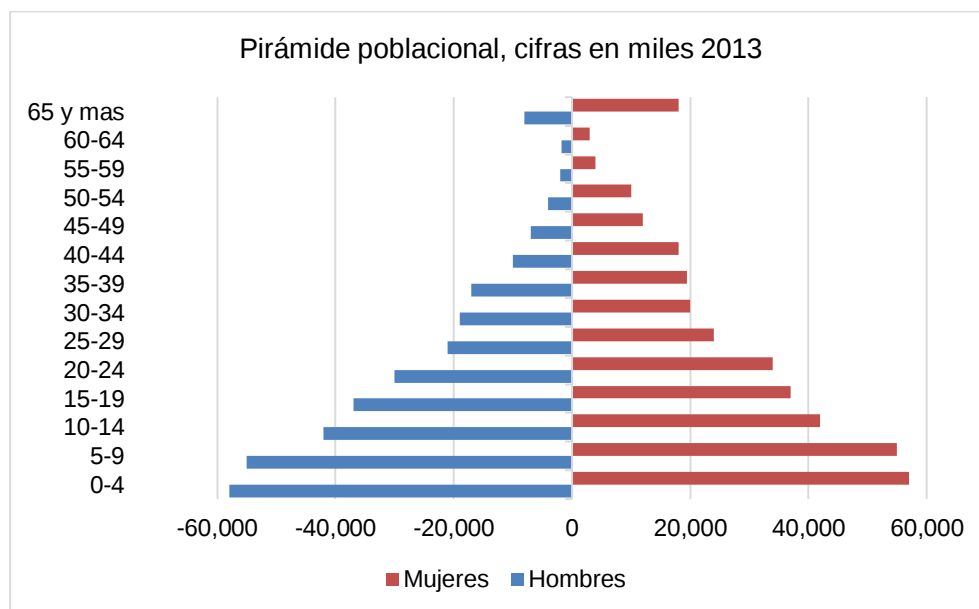
Anexo 1

Gráfica 1.1



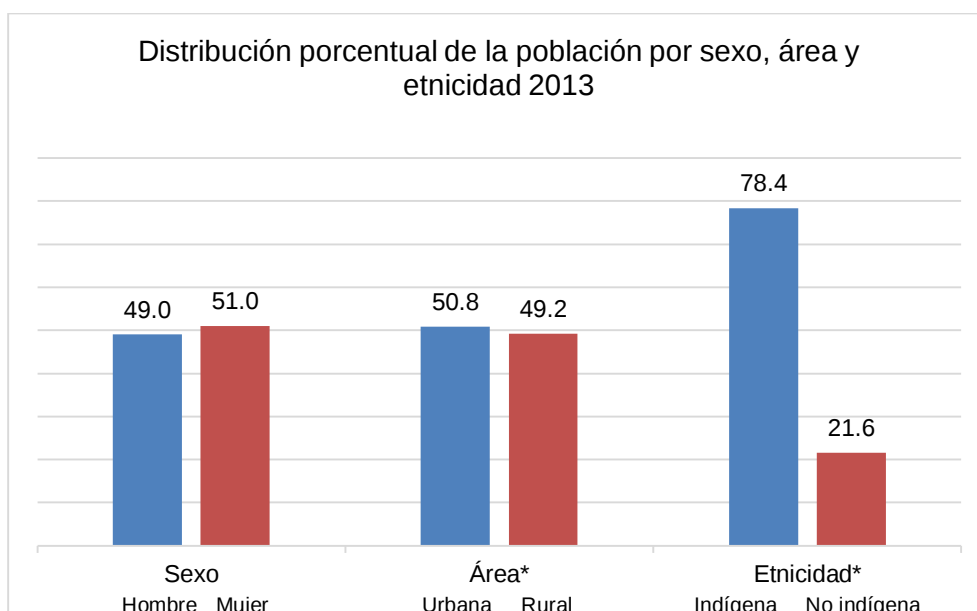
Fuente: INE. Estimación y proyección de población, con base en los censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002, Guatemala, diciembre 2014.

Gráfica 1.2



Fuente: INE. Estimación y protección de población, con base en los censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002, Guatemala, diciembre 2014.

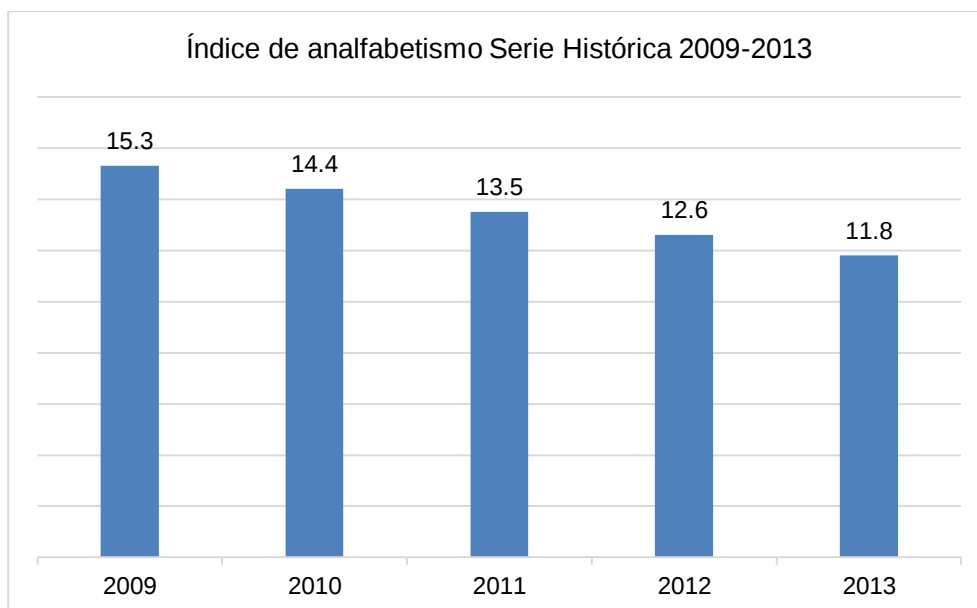
Gráfica 1.3



Fuente: INE. Estimación y protección de población, con base en los censos nacionales XI de población y VI de habitación 2002, Guatemala, diciembre 2014.

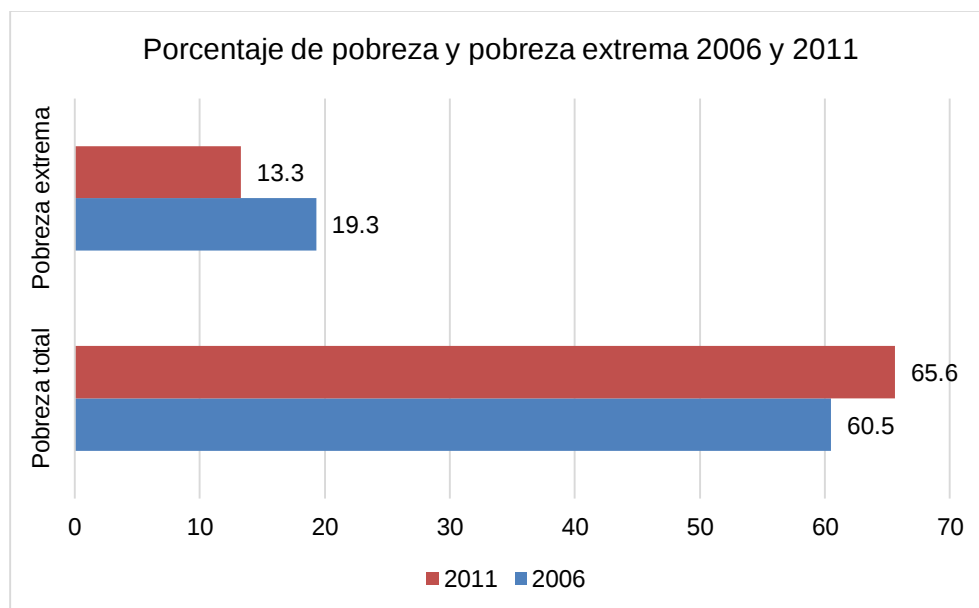
* Con base en la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida ENCOVI 2011

Gráfica 1.4



Fuente: Comité Nacional de Alfabetización

Gráfica 1.5



Fuente: INE. Encuesta Nacional de Condiciones de Vida ENCOVI 2011

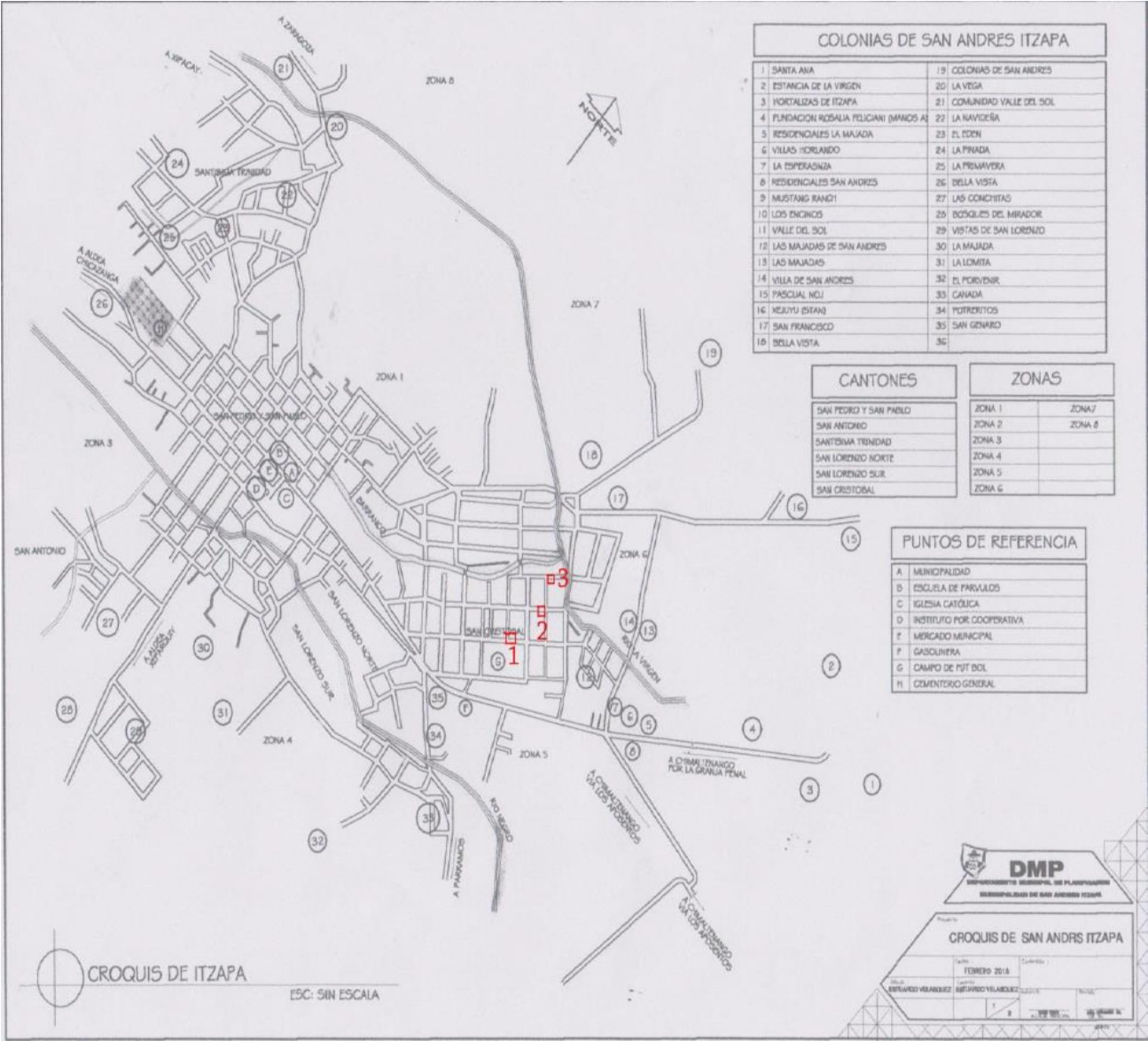
Croquis casco urbano de El Tejar



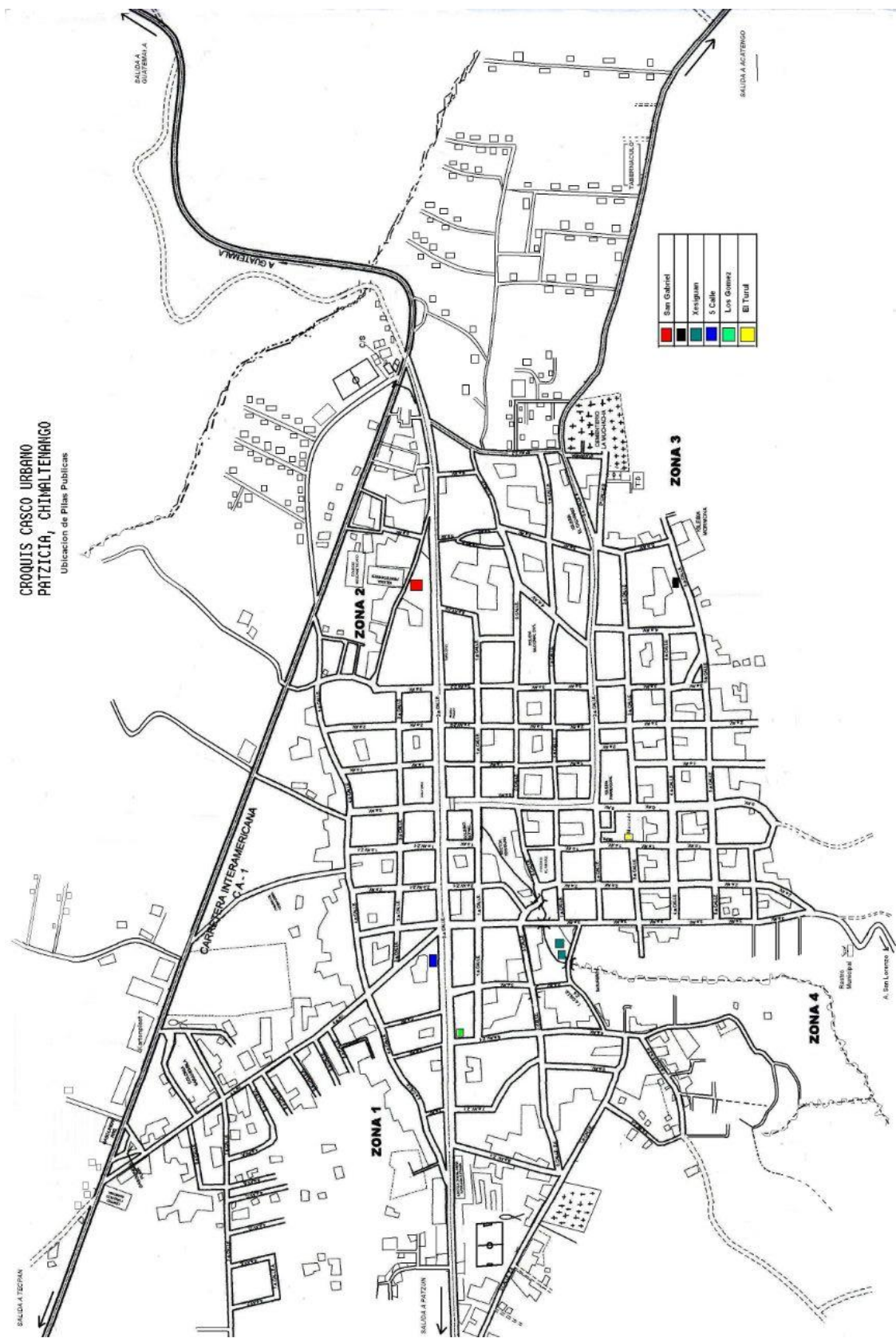
Croquis casco urbano de Santa Cruz Balanyá



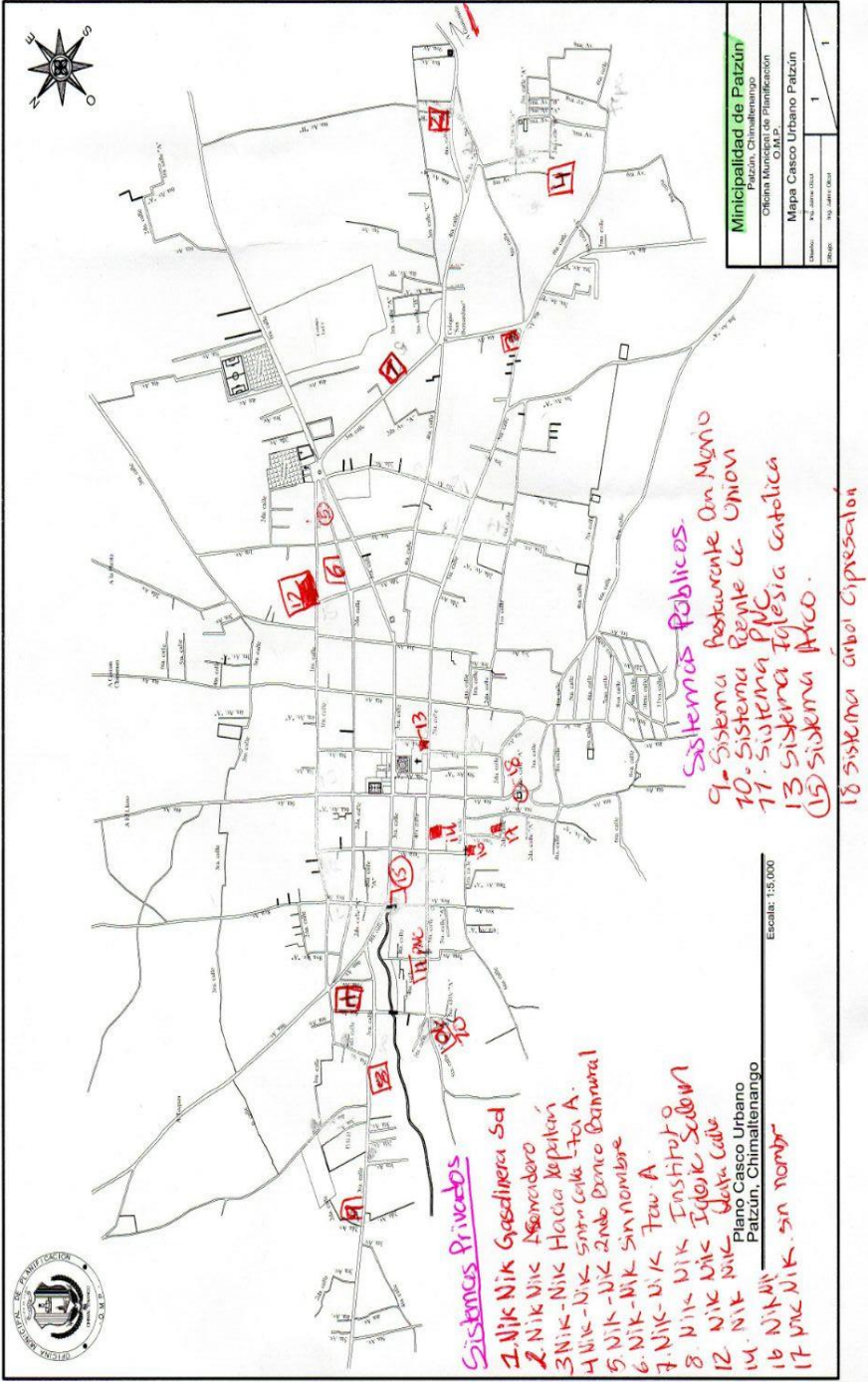
Croquis casco urbano de San Andrés Itzapa



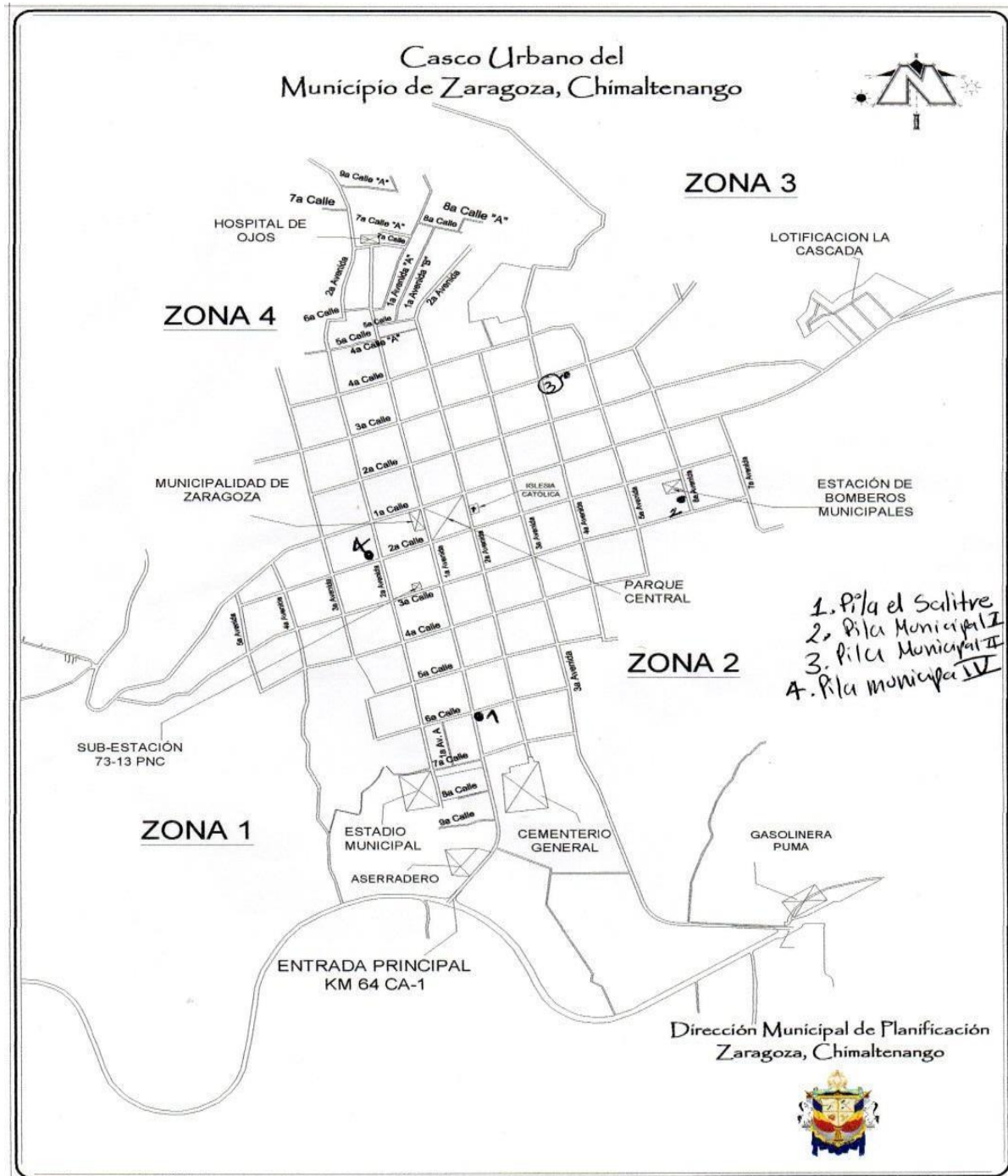
Croquis casco urbano de Patzicia



Croquis casco urbano de Patzún.



Croquis casco urbano de Zaragoza



Croquis casco urbano de Parramos



Anexo 3

Identificación de la muestra y horario de abastecimiento de agua			
Municipio	Hidrante	No. de muestra	Horario de abastecimiento
Zaragoza	1	1	10:00 – 15:00
	2	2	10:00 – 13:00
	3	3	9:00 – 14:00
	4	4	5:00 – 12:00
Santa Cruz Balanyá	1	5	9:00 – 12:00
	2	6	9:00 – 13:00
	3	7	11:00 – 14:00
	4	8	11:00 – 14:00
	5	9	10:00 – 13:00
	6	10	10:00 – 13:00
	7	11	10:00 – 14:00
El Tejar	1	12	11:00 – 13:00
	2	13	11:00 – 15:00
Parramos	1	14	12:00 – 17:00
	2	15	10:00 – 13:00
	3	16	11:00 – 15:00
	4	17	12:00 – 15:00
	5	18	10:00 – 14:00
	6	19	11:00 – 15:00
San Andrés Itzapa	1	20	9:00 – 12:00
	2	21	9:00 – 14:00
	3	22	8:00 – 14:00
	4	23	10:00 – 16:00
	5	24	10:00 – 16:00
	6	25	9:00 – 14:00
	7	26	11:00 – 15:00
	8	27	10:00 – 13:00
	9	28	11:00 – 13:00
	10	29	11:00 – 13:00
	11	30	10:00 – 14:00
	12	31	10:00 – 14:00

Municipio	Hidrante	No. de muestra	Horario de abastecimiento
Patzún	1	32	8:00 – 13:00
	2	33	8:00 – 13:00
	3	34	9:00 – 13:00
	4	35	10:00 – 14:00
	5	36	10:00 – 13:00
	6	37	9:00 – 14:00
Patzicía	1	38	8:00 – 13:00
	2	39	9:00 – 13:00
	3	40	9:00 – 13:00
	4	41	8:00 – 14:00
	5	42	9:00 – 13:00
	6	43	9:00 – 15:00

Anexo 4



INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS “CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN CHIMALTENANGO, GUATEMALA”



El presente instrumento tiene la finalidad de contraponer la parte teórica del trabajo de graduación titulado “Calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable, en Chimaltenango, Guatemala”, con la parte práctica de la misma.

SECCIÓN I				
DATOS GENERALES DE LA COMUNIDAD				
1. Fecha de toma de la muestra				
2. Municipio	El Tejar		San Andrés Itzapa	
	Parramos		Santa Cruz Balanyá	
	Patzicía		Zaragoza	
	Patzún			
3. Número de hidrante				
SECCIÓN II				
CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE LA MUESTRA				
4. Fecha de recolección de la muestra		Día	Mes	Año
5. Hora de recolección de la muestra				
6. Tipo de sistema		Abierto		Cerrado
7. Muestra recolectada por investigador				
8. Fecha de procesamiento de la muestra				
SECCIÓN III				
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS				
9. Coliformes totales en 100 ml de agua		Si		No
10. Escherichia Coli en 100 ml de agua		Si		No