

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN EL ÁREA URBANA
DEL MUNICIPIO DE ESCUINTLA**

Estudio prospectivo descriptivo, de corte transversal realizado en el municipio de
Escuintla del departamento de Escuintla, Guatemala durante el año 2020

Tesis

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

Rodolfo Antonio Nájera Peralta

Stephany Rivara Contreras

Daryl Eunice Hernández Cox

Jocelyne Adriana Angélica Fuentes Osorio

Médico y Cirujano

Guatemala, octubre de 2020

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

Los estudiantes:

- | | | |
|---|-----------|---------------|
| 1. RODOLFO ANTONIO NÁJERA PERALTA | 201210377 | 2260649480101 |
| 2. STEPHANY RIVARA CONTRERAS | 201310076 | 2516706860101 |
| 3. DARYL EUNICE HERNÁNDEZ COX | 201310316 | 2970163420101 |
| 4. JOCELYNE ADRIANA ANGÉLICA FUENTES OSORIO | 201310438 | 2564972060101 |

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:

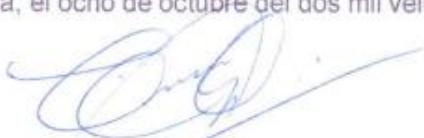
**CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN EL ÁREA
URBANA DEL MUNICIPIO DE ESCUINTLA**

Estudio prospectivo descriptivo, de corte transversal realizado en el municipio de Escuintla departamento de Escuintla, 2020

Trabajo asesorado por el Dr. Mario Alejandro Samayoa Girón, co-asesorado por la Ing. Lucía Gálvez Torres y revisado por el Dr. Rony Enrique Ríos Guzmán, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firman y sellan la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, el ocho de octubre del dos mil veinte

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'César García'.

Dr. C. César Oswaldo García García
Coordinador

A large, handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Fernando Orellana Oliva'.

Vo.Bo.
Dr. Jorge Fernando Orellana Oliva
Decano

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. RODOLFO ANTONIO NÁJERA PERALTA | 201210377 | 2260649480101 |
| 2. STEPHANY RIVARA CONTRERAS | 201310076 | 2516706860101 |
| 3. DARYL EUNICE HERNÁNDEZ COX | 201310316 | 2970163420101 |
| 4. JOCELYNE ADRIANA ANGÉLICA FUENTES OSORIO | 201310438 | 2564972060101 |

Presentaron el trabajo de graduación titulado:

**CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN EL ÁREA
URBANA DEL MUNICIPIO DE ESCUINTLA**

Estudio prospectivo descriptivo, de corte transversal realizado en el municipio de Escuintla departamento de Escuintla, 2020

El cual ha sido revisado y aprobado como profesor de esta Coordinación: Dr. Rony Enrique Ríos Guzmán y, al establecer que cumple con los requisitos establecidos por esta Coordinación, se le **AUTORIZA** a continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General. Dado en la Ciudad de Guatemala, el ocho de octubre del año dos mil veinte.



Guatemala, 8 de octubre del 2020

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. RODOLFO ANTONIO NÁJERA PERALTA
2. STEPHANY RIVARA CONTRERAS
3. DARYL EUNICE HERNÁNDEZ COX
4. JOCELYNE ADRIANA ANGÉLICA FUENTES OSORIO

Presentamos el trabajo de graduación titulado:

**CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN EL ÁREA
URBANA DEL MUNICIPIO DE ESCUINTLA**

Estudio prospectivo descriptivo, de corte transversal realizado
en el municipio de Escuintla departamento de Escuintla, 2020

Del cual el asesor, co-asesora y el revisor 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.

FIRMAS Y SELLOS PROFESIONALES

Asesor: Dr. Mario Alejandro Samayoa Girón

Co-asesora: Inga. Lucía Gálvez Torres

Revisor: Dr. Rony Enrique Ríos Guzmán

Reg. de personal: 960540

Dr. Alejandro Samayoa
Colegiado 2700

LUCÍA GÁLVEZ TORRES
INGENIERA AMBIENTAL
COL. No. 7518

Dr. Rony Ríos
MSc. Pediatría
Colegiado 6498

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser nuestra casa de estudio.

A la Facultad de Ciencias Médicas, por la oportunidad de formarnos profesionalmente.

A nuestro asesor, Dr. Alejandro Samayoa, por ser nuestro guía y el apoyo brindado en el proceso de nuestro trabajo de graduación.

A nuestra coasesora, Inga. Lucia Gálvez, por su orientación y conocimientos compartidos.

A nuestro revisor, Dr. Rony Ríos, por la confianza hacia nosotros, por su tiempo, paciencia y dedicación para lograr la realización de nuestra tesis.

A la catedrática, MSc. Brenda López Cárcamo, por su colaboración y capacitación en el proceso de la elaboración de la presente tesis.

Alas autoridades de la Dirección del Área de Salud de Escuintla y la Unidad de Saneamiento del Centro de Salud de Escuintla por ayudarnos y guiarnos en el trabajo de campo de nuestro trabajo de graduación.

DEDICATORIA

A mi abuelita, Blanca, por ser uno de los pilares fundamentales y haberme apoyado incondicionalmente en este camino, gracias por todo tu esfuerzo, cariño y por ayudarme cuando lo he necesitado.

A mi mamá, Corina, por todo tu amor, compresión, esfuerzo, paciencia, consejos y apoyo incondicional. Gracias por todos los sacrificios que hiciste y sigues haciendo, además de haberme dado la vida, siempre confío en ti.

A mi papá, Rodolfo, por haberme apoyado en todo momento, por tus consejos, por la motivación y por ayudarme a construir este camino, que antes era un sueño y hoy es realidad.

A mis hermanos, Pedro y Javier, por estar presente siempre que los necesité, por todas las alegrías, consejos, apoyo, comprensión, cariño, amistad, sacrificios y confianza que me han tenido.

A la familia Dardón, por estar presente durante toda la carrera, por el apoyo incondicional, amistad, cariño, palabras de ánimos y por ayudarme a ser mejor.

Rodolfo Antonio Nájera Peralta

A Dios, por iluminarme en el camino de la vida y permitirme llegar al día de hoy. Gracias por todas las bendiciones y darme fortaleza en todos los momentos difíciles.

A mi mamá, Patricia Contreras Menéndez, por guiarme e impulsarme a cumplir todas mis metas, por los consejos recibidos y lo ánimos durante mis años de estudio.

A mi papá, Carlos Rivara Figueroa, gracias por su apoyo en mis años de estudio.

A mis hermanas, Cinthya y Natalia Rivara Contreras, gracias por nunca dejarme sola y siempre estar cuando lo necesito, por apoyar todas mis decisiones y confiar en mí.

A mis abuelos, José Contreras y Dalila Menéndez, gracias por todo el apoyo, cariño y estar cuando lo he necesitado, son un ejemplo para mí.

A mi esposo, Hugo Rafael Berganza Vásquez, gracias por amarme y apoyarme durante todos los años juntos, por ser atento, comprensivo y motivarme a seguir adelante.

Stephany Rivara Contreras

A mis padres, Olga Cox y Walter Hernández, por su amor, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y en cada etapa de mi carrera profesional, sin ustedes esto no podría ser posible. Este logro es compartido.

A mi hermano, Walter David, por ser mi compañero y siempre estar presente en mi vida. Por su ejemplo de perseverancia en los momentos de adversidad.

A mi esposo, Henry García, por su amor, paciencia, comprensión y por acompañarme en todos mis logros. Te amo.

A mi abuelita, Audelina Ríos, por su ejemplo de servicio y amor, por su sabio consejo y enseñanza.

A mi familia, por su cariño y apoyo en las diferentes etapas de este proceso universitario.

A mis compañeros y amigos, por los momentos compartidos a lo largo de la carrera, por la motivación para lograr esta meta.

Daryl Eunice Hernández Cox

A Dios, por sus bendiciones y permitirme con su infinita misericordia culminar esta meta.

A mi madre, Carmencita Osorio, gracias por ser mi guía, mi pilar fundamental, por siempre creer en mí, agradezco tu amor incondicional y sacrificios, porque gracias a ti este triunfo es una realidad, jamás podré devolverte todo lo que has hecho por mí.

A mi padre y abuelo (†): Oscar Fuentes y Felicito Osorio sea a su memoria mí triunfo, sé que desde el cielo comparten la alegría del logro de esta meta.

A mis tíos, Lubia Osorio y Angélica Osorio, gracias por su apoyo moral e incondicional en todo momento.

A mi familia, tíos, primos, con sincero amor.

A mis amigos, por su compañía y amistad, por brindarme palabras de ánimo a lo largo de este caminar. En especial a Andrea Vásquez y a Jorge Navarro, gracias.

A mi padrino de graduación, Dr. Sergio Catún Mayen, gracias por sus consejos y guía a lo largo de estos años de formación profesional.

Jocelyne Adriana Angélica Fuentes Osorio

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 de 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.

RESUMEN

OBJETIVOS: Determinar la calidad microbiológica del agua en el área urbana del municipio de Escuintla, en el 2020; por medio de la detección de *Escherichiacoli* y coliformes totales en los tanques de almacenamiento. **POBLACIÓN Y MÉTODOS:**

Estudio prospectivo, descriptivo, de corte transversal, en el cual se realizó un análisis microbiológico del agua. Los datos fueron analizados en el laboratorio de control de calidad Hidroagua Soluciones, S.A. mediante el método de fermentación de tubos múltiples expresado en términos de número más probable para la detección de *Escherichiacoli* y coliformes totales de 63 muestras provenientes de tanques de almacenamiento ubicados dentro del área urbana del municipio de Escuintla. **RESULTADOS:** El 79.37 %(50) de los tanques de almacenamiento provee agua en condiciones microbiológicamente seguras para el consumo humano; por tanto el 20.63 % (13) de los tanques de almacenamiento tiene presencia de *Escherichiacoli* y coliformes totales por lo que el agua contenida en los tanques no es apta para el consumo humano.

CONCLUSIONES: La contaminación del agua de los tanques de almacenamiento por *Escherichiacoli* y coliformes totales en el área urbana del municipio de Escuintla corresponde a las colonias: MusungaSur, Colonia Premier, San Luis el Mango, Costa Paraíso, Colonia Royal Hill, Residencial San Carlos, Andaluz, Residenciales La Rotonda, Colonia Modelo 2, Cañadas Guatelinda, Prados del Carmen, Colonia Santa Clara y Residenciales las Acacias.

Palabras Clave: Agua, tanques, calidad del agua, *Escherichiacoli*, coliformes.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO DE REFERENCIA.....	3
2.1 Marco de antecedentes.....	3
2.2 Marco referencial	5
2.3 Marco conceptual.....	12
2.4 Marco geográfico	13
2.5 Marco demográfico	13
2.6 Marco institucional	14
2.7 Marco legal	14
3. OBJETIVOS.....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos	17
4. POBLACIÓN Y MÉTODOS.....	18
4.1 Enfoque y diseño de investigación	18
4.2 Unidad de análisis y de información	18
4.3 Población y muestra.....	18
4.4 Selección de los sujetos a estudio.....	18
4.5 Definición y operacionalización de las variables.....	20
4.6 Recolección de datos	22
4.7 Plan de procesamiento y análisis de datos.....	25
4.8 Alcances y límites de la investigación	26
4.9 Aspectos éticos de la investigación.....	27
5. RESULTADOS.....	28
6. DISCUSIÓN	30
7. CONCLUSIONES	33
8. RECOMENDACIONES	34
9. APORTES.....	35
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
11. ANEXOS.....	41

1. INTRODUCCIÓN

La población mundial tiene derecho a disponer de agua accesible y salubre en cantidad abundante y constante, con calidad aceptable para uso personal, doméstico, producción de alimentos o para fines recreativos; por ello es importante la vigilancia por parte de salud pública. La constante mejora de las fuentes de abastecimiento de agua, el saneamiento de la misma y la gestión de recursos hídricos potables generan crecimiento económico y disminución de riesgos para la salud. Todas las enfermedades transmitidas por agua son prevenibles, sin embargo, aproximadamente 842 000 personas mueren cada año como consecuencia de enfermedades transmitidas por agua contaminada. Uno de los principales desafíos para la salud pública es abastecer de agua potable a las poblaciones en crecimiento y proporcionar una mejora en la salud de la población.¹

En Guatemala, las enfermedades transmitidas por agua y alimentos (ETAs) son la primera causa de morbilidad general y la segunda causa de mortalidad en la población infantil menor de cinco años.² El agua insalubre genera un riesgo en la seguridad alimentaria y afecta principalmente a la población infantil, ya que contribuye a un aumento en la desnutrición crónica y con ello un inadecuado desarrollo físico y mental.³ Según los informes publicados por el Sistema de Información Gerencial de Salud (SIGSA), se registró a nivel nacional un aumento del 8.86% de ETAs entre el 2018 y 2019 de las cuales el 6.75% pertenecen al departamento de Escuintla. El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) reporta que en Escuintla existe una alta incidencia de ETAs, que aglutina la mayoría de los casos en su cabecera departamental.²

La Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento tiene como objetivo el contribuir al mejoramiento de la calidad de vida, bienestar individual y social de la población guatemalteca, por medio del constante mejoramiento de la gestión pública de los servicios de agua potable, saneamiento y buenas prácticas de higiene.⁴ La Constitución de la República de Guatemala establece como obligación del Estado velar por la salud y asistencia social para la población, por tanto el Código de Salud hace énfasis en la administración, construcción y mantenimiento de los servicios de agua para consumo humano.⁵ La Dirección del Área de Salud de Escuintla (DASE) supervisa la calidad del agua y la municipalidad de Escuintla se encarga de realizar cloración del agua para su potabilización y distribución a la población del municipio.

Con la motivación de mejorar el agua potable a nivel nacional, nace el proyecto Multicyt en el año 2015, el cual estudió la calidad de agua de consumo en 10 comunidades del municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla. El estudio reveló la

presencia de coliformes totales y *Escherichia coli* (*E. coli*) por lo que se determinó que el agua que abastecía a las comunidades no era potable.⁶

Con el afán de una constante mejora de los recursos hídricos y la determinación de la calidad de agua de consumo humano, a través de los indicadores de contaminación fecal que son bacterias del grupo coliformes totales y *E. coli*, surgió la siguiente pregunta: ¿Cuál es la calidad microbiológica del agua del área urbana del Municipio de Escuintla?

En respuesta a la anterior interrogante, se decidió realizar este estudio prospectivo, descriptivo durante los meses de agosto y septiembre del año 2020, en el departamento de Escuintla.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco de antecedentes

Es transcendental la necesidad de determinar la calidad del agua para consumo humano con el fin de evitar perjudicar la salud de la población. A nivel mundial se han realizado muchos estudios sobre el tema, especialmente en países en vías de desarrollo, cuyos resultados generalmente revelan que el agua no es de adecuada calidad y puede provocar enfermedad. Según un estudio realizado por Rodríguez y Moraña en Argentina en el año 2018, se observó que la tasa mensual de diarrea más alta se encontraba en la población que utilizaba agua sin tratamiento de cloración y que las concentraciones de patógenos como *E. coli* y *Giardialamblia* fueron significativamente más elevadas en sistemas de agua sin tratamiento. En el estudio se indicó que si se utilizaban los sistemas de potabilización de agua podían actuar como factor de protección contra enfermedad diarreica en la población.⁷

En Bolivia, Camacho et. al. en 2018, realizaron un estudio sobre la calidad microbiológica de los sistemas de agua de consumo humano, donde indicaron que el efecto del consumo de agua insalubre eran las enfermedades gastrointestinales. El análisis de las muestras de agua reportó que el 61.4 % presentaban contaminación, de los cuales 55 % contenía bacterias coliformes totales y 6.4 % bacterias no coliformes como *Pseudomonas aeruginosa*. También se tomaron 109 muestras de agua de consumo humano de la red de distribución domiciliaria a 100 metros de distancia de los pozos, de los cuales el 53.2 % presentaban contaminación microbiológica. La investigación indicó que la mayoría de las muestras tomadas no cumplieron con las condiciones mínimas del agua para consumo humano, concluyendo que la calidad del agua era deficiente y que ponía en riesgo a la población de contraer enfermedades gastrointestinales.⁸

En Guatemala se han realizado múltiples investigaciones de la calidad del agua y se ha demostrado que los niveles de bacterias del grupo coliforme y de bacterias patógenas son elevados, lo que pone en riesgo la salud de la población guatemalteca.⁹

Barillas en 1983, realizó un estudio sobre la calidad de los abastecimientos de agua de la cabecera departamental de Escuintla. Encontró que había solamente dos sistemas de abastecimiento de agua, los cuales no contaban con un adecuado proceso de potabilización. La investigación se realizó durante seis semanas, en donde se recolectaron muestras de agua de los dos sistemas existentes. Los resultados fueron que el agua de las fuentes de servicio público de Escuintla presentaba características físicas y químicas que eran aptas para el consumo humano. Sin embargo, los resultados de los

parámetros microbiológicos no se encontraban dentro de los límites normados, por lo que representaba un riesgo para la salud del consumidor.¹⁰

Zanotti en 2005, realizó un estudio con el propósito de determinar la calidad física, química y bacteriológica del agua suministrada al municipio de Palín, Escuintla. Se realizó el estudio en dos nacimientos de agua, en los tanques de distribución y en la red de distribución domiciliar (grifos), en un período de seis meses. Se concluyó que las muestras de agua analizadas no eran potables y los parámetros físicos y químicos no eran aptos según las normas establecidas y que era un riesgo para la salud del consumidor. Este estudio relacionó la enfermedad diarreica aguda con la contaminación del agua, por la presencia de coliformes totales y fecales. El estudio indicó que la población de mayor vulnerabilidad eran los niños y que era de vital importancia la potabilización del agua para disminuir la morbilidad y mortalidad infantil.¹¹

Ramos en 2006, realizó un estudio sobre la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del Puerto San José, jurisdicción del municipio de San José. Se tomó la totalidad de pozos surtidores para el análisis físico, químico y bacteriológico del agua. Según los resultados obtenidos, el 60 % de los pozos municipales presentaban coliformes totales y fecales, por lo que no cumplió con las normas COGUANOR NGO 29001, evidenciando que no era potable. Sin embargo, en la mayoría de los pozos municipales el agua contaba con parámetros físicos y químicos adecuados según las normas COGUANOR.¹²

Nájera en 2011 realizó una investigación para analizar las técnicas de tratamiento de agua y su asociación con la prevalencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) en el departamento de Baja Verapaz. Se utilizaron datos epidemiológicos del instrumento SIGSA 18 y muestras de las 13 plantas de tratamiento de agua. Según los datos de SIGSA 18 hubo un total 11 110 casos de EDA en las 52 semanas epidemiológicas, siendo 4663 casos reportados en semanas de cloración del agua, y 6447 reportados en semanas donde no hubo cloración alguna. Los resultados evidenciaron que en las semanas de cloración del agua no se detectaron agentes microbianos y en las semanas donde no hubo cloración, sí se pudo detectar altos niveles de microorganismos. Según resultados estadísticos la prevalencia de casos de EDA estaba asociada a las técnicas de tratamiento de agua y la cloración del agua actuaba como factor protector en los habitantes del departamento.¹³

Monroy en 2012, realizó una investigación para el diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para seis aldeas y la

cabecera municipal de San Vicente Pacaya, Escuintla y analizó las dos fuentes de agua que se distribuían en el municipio. Se tomaron dos muestras de cada lugar, con 20 días de diferencia. Los análisis fisicoquímicos en las muestras de agua fueron aceptables para la normativa COGUANOR 29001 con excepción de los nitratos y dureza. Sin embargo, los análisis microbiológicos mostraron resultados positivos para coliformes totales y coliformes fecales como *E. coli*, por lo que no se consideró apta para consumo humano.¹⁴

Corado et. al. en 2018, realizaron una investigación sobre la calidad microbiológica de la red de distribución de agua en seis municipios de Chimaltenango. Las muestras fueron tomadas de 43 hidrantes públicos. Según los resultados, en el 77 % de las muestras hubo un recuento de microorganismos mayor al límite máximo permisible, según las normas COGUANOR 29001, por lo que solamente el 23 % de las muestras de agua se consideraron aptas para consumo humano. El estudio también concluyó que la totalidad de muestras obtenidas en los hidrantes públicos de los municipios de Santa Cruz Balanyá y Patzún estaban contaminadas, y que el 83 % de los hidrantes públicos de Parramos contenían agua apta para consumo humano.¹⁵

Estos estudios dan soporte al tema de esta investigación, porque evidencian la contaminación del agua en diferentes municipios y departamentos de Guatemala a lo largo del tiempo, también algunos de los estudios citados asocian un incremento en la incidencia de diarrea con el consumo de agua contaminada.

2.2 Marco referencial

2.2.1 Agua

El agua es una sustancia conformada por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Físicamente, se observa como un líquido incoloro, insípido e inodoro. Se encuentra en la naturaleza en el estado de sólido, líquido y gaseoso.¹⁶

Es el elemento más abundante de la superficie terrestre y representa un alto porcentaje en el organismo humano. La importancia del agua radica en sus múltiples usos; ya que es vital para el consumo humano, higiene, actividades agrícolas e industriales entre otras. Únicamente el 0.06 % de la totalidad de agua en la hidrosfera es apta para consumo humano, por lo tanto, es un recurso natural valioso.¹⁷

2.2.1.1 Ciclo del Agua

El agua en la tierra se renueva permanentemente mediante su ciclo natural, de tal forma que el agua que consumimos es la misma que se ha consumido durante millones de años y se ha conservado sin presentar cambios representativos tanto en cantidad

como en tipo. La hidrósfera está formada por 97 % de agua salada y 3 % de agua dulce, en su mayoría en estado sólido en glaciares.¹⁸

El ciclo del agua es un proceso por el cual el agua circula a través de la hidrósfera. El sol eleva la temperatura durante el día y gracias a esto, las superficies tanto acuáticas como terrestres evaporan el agua en su estado líquido; así mismo, evapora el agua de todos los organismos vivos por medio de transpiración de plantas, sudoración de animales y humanos. Posterior a ello, el vapor se condensa en nubes y cuando éstas crecen lo suficiente, el agua se precipita en forma líquida o sólida. Una parte del agua se infiltra en el suelo, penetrándolo a través de sus poros y pasa a ser agua subterránea; misma que vuelve a la atmósfera por medio de evaporación, es transpirada por plantas o ingresa a acuíferos subterráneos.¹⁶

2.2.1.2 Agua Potable

Se le llama así a la que puede ser de uso y consumo humano, tratada previamente para evitar daños a la salud.¹⁷

Los procesos más utilizados para asegurar la potabilización de agua son los siguientes:

2.2.1.2.1 Sedimentación

El agua hunde las partículas más pesadas por gravedad al fondo del depósito utilizado. Este depósito debe ser ancho y de poca profundidad. Existen dos modalidades de sedimentación; simple o secundaria. La sedimentación simple únicamente emplea la gravedad y el tiempo de reposo para potabilizar el agua, cuanto más tiempo el agua está en reposo, mayor será la cantidad de moléculas que se asentaran. La sedimentación secundaria se emplea en partículas que no se asientan, es decir, aquellas que ocasionan turbiedad. Existen sustancias como el alumbre, las cuales ayudan a sedimentar las partículas suspendidas en el agua.¹⁹

2.2.1.2.2 Filtración

Es la separación de las partículas que están suspendidas en el agua por medio de filtros; existen distintos tipos para potabilizar el agua. La filtración lenta en arena es un proceso biológico, que retiene las partículas responsables de la turbiedad en las capas de arena. La filtración rápida horizontal, o por presión, aprovecha la gravedad para filtrar agua tratada previamente, con coagulantes o sedimentación por gravedad. Este método no garantiza una completa potabilidad.¹⁹

2.2.1.2.3 Aereación de líquidos

Es un proceso de potabilización, diseñado para eliminar los gases y compuestos volátiles mediante el arrastre del agua contra el aire. Los aereadores de cascada o escalones son utilizados para lograr la transferencia de oxígeno, por medio de delgadas capas de agua.¹⁹

2.2.1.2.4 Ebullición

Es un método frecuentemente utilizado. Es eficaz en destruir microorganismos perjudiciales para la salud, asimismo elimina bacterias, quistes y huevos. Es importante asegurar el punto de ebullición para que la potabilización sea efectiva; debe enfriarse y almacenarse en recipientes exclusivos para dicho propósito.¹⁹

2.2.1.2.5 Rayos ultravioleta

La radiación es emitida por una lámpara de mercurio con longitud de onda entre 180 a 320nm y es eficaz para inactivar protozoos, bacterias, levaduras, virus y algas. Es un método frecuentemente utilizado junto con ozono lo que ejerce una potente acción catalizadora de reacciones oxidativas.¹⁹

2.2.1.2.6 Ozono

Es un oxidante potente en sustancias orgánica que se utiliza frecuentemente como desinfectante primario. Para aguas previamente tratadas se debe aplicar una concentración de 2 a 5mg/L de ozono en un tiempo de contacto de 20 minutos, aunque también puede ser utilizado en dosis mayor para aguas sin tratamiento previo.¹⁹

2.2.1.2.7 Yodo

Es un desinfectante eficiente; es necesario el contacto por media hora previo a su uso y consumo. Su costo es elevado para establecimientos públicos por lo que no es un método de potabilización de agua frecuente.¹⁹

2.2.1.2.8 Plata

En su forma coloidal o iónica es un potabilizador de agua efectivo, disminuye la presencia de ciertas sustancias químicas como cloruros.¹⁹

2.2.1.2.9 Cloro

La potabilización del agua por medio de cloro puede emplearse como gas cloro, hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico; dichas sustancias disueltas en agua forman ion hipoclorito y ácido hipocloroso. Una dosis de 0.0001% puede destruir todos los microbios

en cuatro minutos. Por lo tanto, es un potabilizador de agua de elección en muchos países por su efectividad y bajo costo.¹⁹

2.2.1.3 Calidad del agua de consumo

La finalidad de determinar la calidad del agua de consumo humano es ayudar a la prevención de enfermedades transmitidas por ésta y la protección de la salud pública. El agua es vital para la conservación de cualquier vida; por tanto, es importante que toda la población tenga a disposición un abastecimiento suficiente, seguro y accesible de agua potable. El agua de consumo segura es definida por la OMS como “la bebida que puede tomarse a lo largo de toda la vida sin ningún riesgo para la salud”. El agua potable no es utilizada únicamente para beber; tiene otras funciones como usos domésticos habituales, preparación de alimentos e higiene personal.²⁰

El pH del agua potable puede variar entre 6.5 y 8.5, es un parámetro importante para la evaluación de su calidad, especialmente si es para consumo. Las aguas en límites ácidos disuelven metales de conducción como el plomo, cobre y zinc. Estos pueden ocasionar serios daños a la salud; así mismo las aguas alcalinas pueden producir irritación en las mucosas del sistema gastrointestinal y otros órganos internos.²¹

Dentro de las prioridades de salud pública para mejorar la calidad del agua para consumo humano, está encontrar soluciones para la protección contra microorganismos patógenos, de tal forma que, se pueda brindar a la población agua de calidad y con buena apariencia, sabor y olor. Para ello es importante que expertos en la materia gestionen adecuadamente su purificación en los sistemas de abastecimiento para consumo humano, desde la fuente de captación hasta el consumidor.²⁰

2.2.1.3.1 Comisión Guatimalteca de Normas (COGUANOR)

Fue creada en 1962, según el decreto No. 1523. Dicha Comisión crea en el año 1985, la Normativa COGUANOR NGO 29001, con el objetivo de fijar las características que definen la calidad del agua potable. Se evalúan características físicas, químicas y microbiológicas.²²

a. Características Físicas

Las principales características físicas del agua potable radican en el color, olor, sabor y turbiedad.²²

b. Características Químicas

Algunas sustancias químicas son potencialmente peligrosas para la salud en cantidades variables. Las normas de COGUANOR rigen los límites en las cuales se

considera el agua potable; así mismo indican los compuestos químicos que son tóxicos incluso en pequeñas cantidades y que no debe contener el agua potable.²²

c. Características Microbiológicas

La calidad microbiológica del agua se determina por la presencia o ausencia de coliformes fecales y coliformes totales. Después del análisis del agua, se determina si no es apta para consumo por la presencia de coliformes.²²

2.2.1.4 Aspectos Microbiológicos del Agua

La Salud Pública es la encargada de velar por la inocuidad microbiana del agua para consumo, y por ello se aplican múltiples barreras desde la captación del agua hasta su llegada al consumidor, de tal forma que ésta no sea perjudicial para la salud. La protección de los recursos hídricos, la selección y operación correcta de cada etapa del tratamiento del agua, es la estrategia más eficaz utilizada para prevenir o reducir la entrada de agentes patógenos a las fuentes de abastecimiento de agua. Otra estrategia importante es el control de las actividades humanas como la industria, la minería y las zonas militares.²⁰

El agua contaminada con heces es un riesgo potencial para la salud, debido a que pueden ser fuente de agentes patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos. El riesgo de contraer enfermedades transmitidas por agua es mayor si aumenta la presencia de microorganismos patógenos. La verificación de la calidad microbiológica del agua, por lo general, se basa en el análisis de contaminación fecal, el cual incluye la determinación de *E. coli* coliformes termotolerantes. Las enfermedades transmitidas por agua constituyen una carga de morbilidad medible y significativa; tanto por contaminación orgánica como radiactiva y química. Es importante monitorizar y controlar los recursos hídricos, en busca de contaminantes, ya que pueden generar un aumento del riesgo de enfermedades transmitidas por agua. Se debe tomar en cuenta que la lluvia aumenta los niveles de contaminación microbiana en las fuentes primarias de agua por lo que las enfermedades transmitidas por agua son más frecuentes después de las lluvias.²⁰

2.2.1.4.1 Coliformes Totales y Fecales

Son bacterias de forma bacilar y de pared Gram negativa pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae. Todas las bacterias coliformes tienen la capacidad de fermentar la lactosa, producir ácido y gas, tolerando las sales biliares.²³

Los coliformes viven principalmente en el sistema digestivo humano y animal. Pueden aislarse en el ambiente y se clasifican en: fecales o totales. Los fecales son

pertenecientes a animales de sangre caliente y humanos, además son capaces de desarrollarse en temperaturas de 44 °C y 46 °C, produciendo ácido y gas a partir de la lactosa. Los coliformes totales pueden medirse a partir de una temperatura de 37 °C. Un aproximado del 95 % de coliformes fecales son *E. coli* y el resto son especies de *Klebsiella*. Los coliformes totales más frecuentes son Clostridios sulfito-reductores.²³

2.2.1.4.2 *Escherichiacoli*

Es una bacteria presente en el intestino distal de algunos seres vivos, incluyendo el humano. La mayoría de las cepas son inofensivas para el humano, sin embargo, otras pueden causar intoxicaciones por consumo de alimentos crudos o contaminados. Los síntomas más frecuentes son calambres abdominales, diarrea, fiebre y vómitos; en algunos casos, puede progresar a colitis hemorrágica. Su presencia es el indicador preciso para evaluar la contaminación del agua de consumo humano.^{24, 25}

La *E. coli* es una bacteria mesófila, bacilo aerobio Gram negativo, no esporulante; tiene enzimas específicas como el B galactosidasa y B glucuronidasa, productor de indol a partir de triptófano; no necesita utilizar citratos como fuente de carbono y no produce acetoína. Su cubierta está formada por una membrana citoplásmica, una membrana externa y un espacio periplásmico entre ambas, lo que le da forma y rigidez estructural a la bacteria, brindándole resistencia ante presiones osmóticas y ambientales.^{24, 26}

Se desarrolla adecuadamente a temperaturas entre 35 °C a 43 °C, La temperatura mínima de crecimiento es alrededor de los 7 °C, por lo que la congelación de los alimentos tiene pocos efectos en la destrucción de la bacteria; la temperatura máxima de supervivencia es de 70 °C por lo que la ebullición es efectiva para su destrucción.²⁶

2.2.1.5 Red o Sistema de Distribución de Agua Potable

2.2.1.5.1 Fuente

La fuente de agua es el recurso natural del cual tiene su abastecimiento la red de distribución de agua. Un sistema de abastecimiento de agua puede incluir una o varias fuentes. Las fuentes de agua más usadas en Guatemala son manantiales, ríos, lagos y agua subterránea.²⁷

2.2.1.5.2 Captación del agua

Las estructuras utilizadas para la captación de agua deben garantizar seguridad, estabilidad y durabilidad en todas las fuentes. Se debe emplear estrategias para evitar su contaminación y no permitir la entrada de elementos flotantes, insectos, plantas y otros elementos a la red de distribución.²⁷

a. Captación superficial

La captación superficial es utilizada en cuerpos de agua como ríos y riachuelos. Debe ubicarse en fuentes no contaminadas, de preferencia aislada de personas y animales. Éstas se deben ubicar en tramos rectos u orilla exterior de tramos curvos de la fuente, evitandola cercanía con bancos de arena.²⁷

b. Bocatoma de fondo

Es una estructura ubicada perpendicular a la corriente de agua, ésta tiene una rejilla de hierro fundido con distancia entre cada barra de 1cm a 2cm, impidiendo la entrada de materia que pueda dañar u ocluir la estructura. La rejilla debe tener una inclinación de 60 grados y una velocidad de agua mínima de 0.60m/s.²⁷

c. Galerías de infiltración

Son estructuras que consisten en conductos horizontales que recolectan agua subterránea que fluye por medio de gravedad. Regularmente, se ubican paralelas a lechos de ríos para asegurar un abastecimiento de agua permanente. Se coloca sobre el tubo colector, una capa de grava fina de 15cm y de arena gruesa lavada de 15cm. La velocidad máxima de entrada de agua por los tubos colectores es de 0.05 m/s y ésta debe ser recolectada en depósitos cubiertos.²⁷

d. Ariete hidráulico

Estructura utilizada cuando la fuente de agua está en una ubicación más baja que el punto de distribución. La tubería que lleva el contenido de agua debe tener una longitud 5 a 10 veces la carga de agua.²⁷

2.2.1.5.3 Pozos excavados a mano o artesanales

Son estructuras que penetran el suelo para extraer agua subterránea superficial. Deben ser de losa de concreto que sobrepasa el suelo al menos 20cm, con una tapa hermética para cubrir el pozo. Debe tener un diámetro como mínimo de 0.90m. La extracción de agua se puede realizar de forma manual o por medio de bomba de agua.²⁷

Los pozos artesanales deben tener fácil acceso para la población y ubicarse en sitios lejanos a la contaminación y en zonas no inundables; no deben ubicarse cerca de fallas geológicas. Los pozos deben asegurar la fluidez del agua en época seca, dando como mínimo un manto de agua de 1.5m.²⁷

2.2.1.5.4 Pozos perforados por método mecánico

Son estructuras que penetran el suelo para extraer agua subterránea profunda. La perforación debe ser sellada con concreto que, sobresalga al menos 25cm del nivel del terreno y contener tubería de un calibre adecuado de tal forma que entre el sellado y la tubería tenga una pulgada libre. La parte del pozo que está en contacto con el acuífero debe tener una rejilla con un revestimiento de grava para iniciar el proceso de potabilización. Los pozos mecánicos deben estar ubicados en sitios seguros, en un radio de 20m de cualquier foco de contaminación. La velocidad de entrada del agua, por medio de la rejilla, no debe exceder una velocidad de 0.03m/s.²⁷

2.2.1.5.5 Líneas de Conducción

Las líneas de conducción tienen el fin de transportar el agua desde la fuente hasta el punto de almacenamiento. Usualmente es una tubería que transporta el agua a presión con fuerza gravitacional o por medio de una bomba de agua. En la red de distribución se puede contar con más de una línea de conducción, dependiendo de las necesidades de esta.²⁷

2.2.1.5.6 Tanque de almacenamiento

Es el lugar donde se regula y almacena el agua potable que se distribuye a una comunidad. En Guatemala, el lugar de almacenamiento es en tanques conformados por concreto reforzado y acero estructural, entre otros materiales. Se debe realizar previamente un censo, que indique cuál es la demanda real y a futuro de cada comunidad, para determinar el volumen del tanque de distribución. Estos tanques de almacenamiento se encuentran ubicados en zonas topográficas y estratégicas, ya que deben estar posicionados en las áreas más altas de cada región; en su defecto, éstos deben tener una altura máxima de 20 metros para asegurar la energía necesaria para que el agua pueda ser distribuida con la presión requerida para abastecer la comunidad.²⁷

2.2.1.5.7 Distribución

La distribución de agua potable se da por medio de un conjunto de dispositivos, los cuales abastecen a cada vivienda mediante conexiones domiciliares, conexiones comunales o en puntos muertos que sirven para limpieza de la tubería. Las corrientes de agua en las tuberías deberán ser de entre 0.60 a 3.00 m/seg.²⁷

2.3 Marco conceptual

- Agua: compuesto elaborado por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, es líquido, inodoro, incoloro y transparente en su estado puro.²⁸

- Agua potable: agua procesada, sin contaminación bacteriana, física y química de modo que puede ser consumida por seres vivos sin repercusión negativa en la salud.²⁹
- Tanque de almacenamiento: depósito usualmente abierto o cerrado, grandes, rotundo para contener líquidos.³⁰
- Coliformes totales: bacilos gramnegativos, anaerobios y aerobios facultativos, no esporulados, ampliamente distribuidos en la naturaleza y perteneciente a la flora intestinal de los seres vivos.¹⁵
- *Escherichiacoli*: bacilo gramnegativo, anaerobio facultativo, productor de nitritos, fermentadora de glucosa y no formador de esporas.¹⁵
- Agua de consumo humano: agua en su estado líquido, después del procedimiento para usos e higiene personal, independientemente de que se provean a la población, a través de sistemas públicos o privados.²⁰

2.4 Marco geográfico

2.4.1 Departamento de Escuintla

Escuintla es un departamento ubicado en el sur del país, limitando por los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango al Norte, Santa Rosa al Este, Suchitepéquez al Oeste y con el Océano Pacífico al Sur. Este departamento posee una extensión territorial de 4384 kilómetros cuadrados, cuenta con 14 municipios.³¹

2.4.2 Municipio de Escuintla

El estudio se realizará en el municipio de Escuintla, cabecera de su departamento homólogo, presenta las siguientes características:

- Área y extensión relativa: 332 km²
- Superficie total: 1979 km²
- Altitud: 346.91 metros sobre el nivel del mar
- Clima: cálido.

Los principales recursos hídricos son los ríos que cursan en el municipio: Guacalate, María Linda, Michatoya, Coyolate, Madre Vieja y Nahualate.³²

2.5 Marco demográfico

Para el año 2018 el INE presento el censo poblacional, siendo a nivel nacional 16346950 habitantes. El departamento de Escuintla posee 733 181 habitantes representando el 4.48% de la población total de Guatemala. El municipio de Escuintla se considera como área urbana en su totalidad posee 156 313 habitantes, siendo 50.13 % hombres y 49.87% mujeres, además el 95.73 % son ladinos y el 3.73% son indígenas. El 65.35 % de la población se encuentra en el rango de 15 a 64 años de edad.³³

Según el INE el 90.23% de la población es alfabetizada. La media del promedio de estudio ronda entre los 7.5 años de estudio. El municipio cuenta con 39 403 hogares, de los cuales se reportan que 26915 posee tubería dentro de la vivienda, proveniente de red de distribución municipal donde se suministra agua potable a sus hogares. A nivel departamental, el agua es suministrada por las municipalidades y algunas empresas privadas. Según datos proporcionados por el INE, un 79.6% de la población del municipio de Escuintla, cuentan con servicio de agua potable, que es suministrada por 69 tanques de almacenamiento de entidad municipal y privada, alimentados por pozos mecánicos y nacimientos por conducción de bombeo y gravedad, respectivamente.^{31, 33}

No se cuenta con datos actuales de pobreza en la población, sin embargo, se reconoce que tiene bajos índices de pobreza comparado con otros municipios del departamento, ya que la población se dedica a la producción agrícola de frutas variadas, caña de azúcar, crianza de ganado vacuno. El INE reporta que al menos un 80% de las actividades son de tipo agropecuarias, donde laboran los jefes de familia en época de zafra en fincas aledañas.³¹

2.6 Marco institucional

Para tener acceso a la información pública y localización de tanques de almacenamiento, se solicitó la información al área de salud del departamento de Escuintla, quienes proporcionaron croquis del área urbana, técnicos en saneamiento y la autorización debida por medio de la directora del área: Dra. María Isabel Pedroza Estrada de Mendizábal, para realizar el muestreo de los tanques.

El laboratorio de control de calidad Hidroagua Soluciones, S.A, a cargo del Licenciado Químico Farmacéutico, Javier Crespo Santos, brindó sus servicios de procesamiento y análisis de muestras de agua en este estudio.

2.7 Marco legal

2.7.1 Constitución Política de la República de Guatemala

El derecho al agua es fundamental para garantizar el bienestar y sobrevivencia del humano. Cada ciudadano necesita un sistema que le suministre agua potable. El artículo 127 indica que el agua es un bien de dominio público. El artículo 128 determina que el agua está al servicio de la comunidad y no de personas particulares y el artículo 253 establece que los municipios deben de coordinar y atender los servicios públicos tales como saneamiento y agua potable locales.³⁴

2.7.2 Legislación específica

En el acuerdo gubernativo No.113-2009 titulado “Reglamento de normas sanitarias para la administración, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua para consumo humano” indica que debe efectuarse semestralmente análisis físicos, microbiológicos y químicos del agua distribuida a la población; dichos análisis se deben realizar para comprobar que se da una adecuada desinfección y así brindar agua potable para consumo humano.⁵

El Acuerdo Gubernativo No.178-2009 titulado “Reglamento para la certificación de la calidad del agua para consumo humano en proyectos de abastecimiento”, tiene como objetivo velar porque las entidades responsables de dichos proyectos cumplan los criterios administrativos y técnicos dictados por la DAS y brinden un adecuado servicio a la población.³⁵

2.7.3 Código municipal

El Código Municipal en el artículo 68 especifica que el abastecimiento domiciliario de agua potable debe tener un proceso de cloración y en el artículo 142, indica que se deben formular y ejecutar planes para proporcionar red y equipos de distribución proveyendo agua potable a los hogares, así como drenajes y alcantarillados para un adecuado desecho de aguas residuales.³⁶

2.7.4 Código de Salud

El Código de Salud en su artículo 78 indica que el MSPAS deberá coordinar con instituciones locales y con el Instituto de Fomento Municipal (INFOM) una política prioritaria que garantice el acceso universal del agua potable a la población. En sus artículos 80, 87 y 89 establece que el estado por medio del MSPAS deberá velar por el adecuado aprovechamiento, conservación y protección de las fuentes de agua potable. Estos artículos también establecen que las municipalidades o entidades que abastecen agua deben brindar calidad del agua para consumo humano.³⁷

El “Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano” emitido por el Acuerdo Ministerial N°1148-09 brinda los métodos y procesos para purificación de agua de consumo humano. La Dirección de Área de Salud del MSPAS, orienta a las municipalidades para la aplicación de las normas sanitarias que establecen la calidad del agua.³⁸

Según Acuerdo Ministerial N°. SP-M-278-2004 se creó el “Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano” (PROVIAGUA) para poder diseñar, promover y ejecutar medidas de tipo preventivas para con ello procurar la salud de la población, haciéndose cargo cada dirección de área de salud del país.³⁹

2.7.5 Norma técnica guatemalteca COGUANOR NGO 29001

Esta norma define las características a evaluar que determinan si el agua es apta para consumo humano y los límites aceptables máximos de compuestos químicos y microbiológicos. Indica también las concentraciones de cloro que se debe aplicar a toda agua destinada para consumo humano, uso doméstico y preparación de alimentos, sin importar su fuente de procedencia.²²

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la calidad microbiológica del agua en el área urbana del municipio de Escuintla, en el 2020.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1. Detectar la presencia de *Escherichiacoli* y coliformes totales en los tanques de almacenamiento de agua.
- 3.2.2. Identificar los tanques de almacenamiento de agua contaminada que abastece a la población del área urbana.

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

Resultados obtenidos en el laboratorio de control de calidad Hidroagua Soluciones S.A.

4.2.2 Unidad de información

Muestras de agua recolectada de los tanques de almacenamiento del municipio de Escuintla.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población o universo

4.3.1.1 Población diana

Tanques de almacenamiento de agua del municipio de Escuintla.

4.3.1.2 Población de estudio

Totalidad de tanques de almacenamiento del área urbana del municipio.

4.3.2 Muestra

La presente investigación no tuvo muestra ya que estudió la totalidad de tanques de almacenamiento de agua.

4.4 Selección de los sujetos a estudio

4.4.1 Criterios de inclusión

- Tanques de almacenamiento de agua del área urbana del municipio de Escuintla en funcionamiento.

4.4.2 Criterios de exclusión

- Tanques de almacenamiento que no contaban con grifo o que no se encontraron en funcionamiento al momento de la recolección de muestras.
- Muestras de agua que no cumplieron con los requisitos mínimos solicitados por el laboratorio de control de calidad Hidroqua Soluciones, S.A.
- Tanques de almacenamiento que se encontraban en desuso.

4.5 Definición y operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN/ UNIDAD DE MEDIDA
<i>Escherichiacoli</i>	Bacteria frecuente del tracto gastrointestinal de los seres humanos y de algunos animales de sangre caliente, algunas cepas presentan la capacidad de causar enfermedades. ²⁵	Reporte de resultado de <i>Escherichiacoli</i> encontradas en las muestras de agua procesadas en el laboratorio de control de calidad Hidroagua Soluciones, S.A.	Categórica dicotómica	Nominal	Presente/ausente
Coliformes totales	Bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados; del grupo coliforme forman parte varios géneros: <i>Escherichiacoli</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Citrobacter</i> . ¹⁵	Reporte de resultado del análisis del agua indicando la presencia/ausencia de coliformes totales procesadas en el laboratorio.	Categórica dicotómica	Nominal	Presente/ausente

Tanque de almacenamiento	Estructura con función de acumular agua necesaria para abastecer la demanda de un área determinada y regular la presión establecida a los sistemas de distribución. ⁴⁰	Depósito de agua donde se recolecta agua para distribuir a una parte de la población escuintleca, identificado por un número.	Categoríapologicotómica	Ordinal	1 al 69
--------------------------	---	---	-------------------------	---------	---------

4.6 Recolección de datos

4.6.1 Técnica

Se localizaron los 69 tanques de almacenamiento de agua del área urbana del municipio de Escuintla, por medio de croquis proporcionados por el área de salud. Se realizó la toma de muestra de agua con los estándares establecidos en el manual de laboratorio y capacitación por la MSc. Brenda Regina López Cárcamo, Química Bióloga docente de la USAC.⁴¹ Se tomó la totalidad de muestras de agua de los tanques que cumplieron los criterios de inclusión. Posteriormente, se completó el instrumento de recolección de datos y luego se transportaron las muestras al laboratorio de control de calidad Hidroqua Soluciones, S.A. Las muestras se procesaron bajo el método de fermentación de tubos múltiples expresado en términos de número más probable. (Anexo 3 y 4)

4.6.2 Procesos

1. Se gestionó la autorización con el área de salud y epidemiología de Escuintla para la realización del trabajo de campo en el municipio de Escuintla.
2. Se solicitó al área de salud de Escuintla el número de tanques de almacenamiento de agua, la dirección de ubicación y croquis de los tanques del casco urbano del municipio de Escuintla, con lo que se elaboró el itinerario de muestreo.
3. Se envió una carta de solicitud al Lic. Javier Crespo Santos, director técnico del Laboratorio de Control de Calidad Hidroqua Soluciones, S.A, para el procesamiento de las muestras en dicho laboratorio por la técnica de fermentación de tubos múltiples expresado en términos de número más probable. Se realizó una conferencia virtual de capacitación sobre la toma de muestras con la MSc. Brenda Regina López Cárcamo, Química Bióloga docente de la USAC; respecto a la correcta toma, recolección, almacenamiento, transporte y procesamiento de muestras. La duración de la conferencia en plataforma virtual fue de dos horas.
4. Se programaron las fechas para la toma y recolección de muestras con el Área de Salud de Escuintla y se programaron las citas de entrega de muestra en el laboratorio de control de calidad Hidroqua Soluciones, S.A.
5. El costo económico del procesamiento de cada muestra de agua en el laboratorio de control de calidad Hidroqua Soluciones, S.A fue de Q100.00, el

cual incluyó el material utilizado para su recolección y equipo utilizado en el laboratorio.

6. Se recibió el material para la recolección y transporte de las muestras, el cual consistió en: una bolsa plástica estéril de 100 mL, guantes de nitrilo, hielera, bloque de hielo de plástico reutilizable, alcohol etílico al 70 %, algodón, mascarilla, termómetro de hielera.
7. Se planificó una ruta de recolección de muestras de los tanques de almacenamiento según su ubicación.
8. Se acudió al municipio de Escuintla y se seleccionaron los 69 tanques de almacenamiento del área urbana del municipio de Escuintla, para la recolección de muestras. Se aplicaron los criterios para evaluar para cada uno en la toma y recolección de muestras.
9. La recolección de muestras y procesamiento se realizó en un período de dos semanas. Los cuatro investigadores estuvieron acompañados por dos técnicos del área de saneamiento de la DASE en la recolección de las muestras de agua de los tanques de almacenamiento.
10. Se identificó cada bolsa plástica estéril y se llenó el instrumento de la recolección de muestras. (Anexo 5)
11. Previo a la toma de muestras, cada investigador se lavó las manos y se colocó guantes de nitrilo, mascarilla, bata y cofia. Se eliminó cualquier objeto que no pertenecía al grifo de cada tanque de almacenamiento de agua. Posteriormente, se realizó asepsia de la superficie del borde interior con algodón, previamente humedecido en alcohol etílico al 70 %, hasta que la profundidad del grifo lo permitiera, hasta obtener un algodón limpio. Se descartó dicho algodón y se limpió el borde exterior con otro algodón con alcohol etílico al 70 %.
12. Se dejó el caudal del agua con flujo y presión constante sin interrupción, durante un minuto. Se tomó la muestra de 100 mL en cada bolsa plástica estéril y se selló herméticamente.
13. Se transportaron las muestras en las hieleras con bloques de hielo de plástico reutilizable, en donde se mantuvo a una temperatura de 4 °C desde el tiempo transcurrido entre la toma de muestra y el transporte al laboratorio, las cuales no superaron las 24 horas para su preservación.

14. Las muestras se entregaron al laboratorio de control de calidad Hidroqua Soluciones, S.A en horario hábil de 8:00 hrs a 16:30 hrs.
15. El análisis de las muestras se realizó mediante el método de fermentación de tubos múltiples expresado en términos de número más probable. Se realizó una fase presuntiva y una fase confirmatoria. La fase presuntiva consistió en realizar diluciones de las muestras en 15 tubos de la siguiente manera: 5 tubos con 10 mL de agua y 10 mL de caldo lauril sulfato doble, 5 tubos con 1 mL de agua y 9 mL de caldo lauril sulfato simple y 5 tubos con 0.1 mL de agua y 9 ml de caldo lauril sulfato simple a una temperatura de 36 °C, por un periodo de incubación de 48 horas. A cada uno de los tubos con presencia de gas, se inoculó una mezcla en un tubo de bilis verde Brillante (BVB 2 %) con campanilla de Durham. Otros con caldo EC para la siembra en cajas de Petri, para la detección de la presencia de *E. coli*, todos los tubos con presencia de gas y turbidez fueron registrados como positivos para coliformes totales, en el caso de los inoculados con BVB 2 %. De igual forma, los inoculados con caldo EC, fueron catalogados como coliformes fecales. Luego, se realizó el cálculo con base en la tabla de número más probable. Para la fase confirmatoria se sembró el 10% de los tubos positivos del caldo EC en agar Mackonkey a 35 °C por 24 horas, luego se inoculó una serie en IMVIC (Indol, Rojo de Metilo, Voges- Proskauer, Citrato). Los resultados confirmatorios de presencia de *E. coli* son: prueba Indol y Rojo de Metilo positivo, Voges- Proskauer y Citrato Slants negativo. Con este proceso se determinó la presencia o ausencia de bacterias. (Anexo 3 y 4)
16. Se recibieron los informes con los resultados del laboratorio luego de cinco días hábiles. Cada informe identificado con los datos de cada tanque de almacenamiento respectivamente y los datos que determinaron la presencia o ausencia de coliformes totales y *E. coli*conjunto al valor de referencia establecida por las normas de COGUANOR NGO 29001. Se describió la conclusión del laboratorio, firma y sello del responsable de cada resultado.

4.6.3 Instrumento

Se utilizó un instrumento de recolección de datos elaborado por el grupo de investigadores, conformado por tres secciones que brindan información del tanque de almacenamiento y muestra tomada del mismo, para control respectivo de las muestras: (Anexo 5).

Sección I

Número de tanque de almacenamiento

Dirección exacta de cada tanque de almacenamiento.

Sección II

Hora de recolección de muestra

Fecha de recolección de la muestra

Nombre de investigador que recolecta muestra

Sección III

Fecha de informe final

Registro de la presencia o ausencia de *E. coli* y coliformes totales de datos obtenidos

4.7 Plan de procesamiento y análisis de datos

4.7.1 Plan de procesamiento de datos:

1. Se ordenó la información de las boletas de recolección con datos en el programa Microsoft Office Excel 2019.
2. Se garantizó la calidad de recopilación de datos verificando que cada boleta esté identificada y completa.
3. Se trasladaron los datos al programa Microsoft Office Excel 2019 para generar la base de datos en una tabla.
4. La base de datos consiste en una tabla con las variables en columnas
 - Número de tanque: codificado del número 1 al 69.
 - *Escherichia coli*: codificado como 0 si está ausente y 1 si está presente.
 - Coliformes totales: codificado como 0 si está ausente y 1 si está presente.
5. En las filas de la tabla de la base de datos corresponde a la información recaudada del instrumento.

4.7.2 Plan de análisis de datos

1. El análisis de datos se realizó por un método univariado descriptivo.
2. Se verificó la calidad de la información de la boleta de recolección utilizada y base de datos.

3. Se clasificaron los tanques de almacenamiento de agua, según la presencia o ausencia de agentes microbiológicos: *E. coli* y coliformes totales.
4. Se calcularon y analizaron los porcentajes de los tanques de almacenamiento de agua del área urbana de Escuintla con y sin contaminación.
5. Se utilizó la tabla de base de datos para realizar gráficas dinámicas.
6. Se redactaron los resultados con base en los porcentajes y gráficas obtenidas.

4.8 Alcances y límites de la investigación

4.8.1 Obstáculos

El mayor obstáculo para la investigación fue la pandemia de COVID-19, ya que generó un atraso en el trabajo de campo. La razón principal fue la restricción de desplazamiento interdepartamental que el Gobierno de Guatemala decretó y no permitió realizar a tiempo la planificación prevista; sin embargo, se gestionó información por medio de plataformas virtuales con la DAS de Escuintla y en cuanto fue posible trasladarse al departamento de Escuintla, se realizó el trabajo de campo de la investigación.

Un factor importante que representó un obstáculo para la investigación fue la falta de actualización de los croquis, de ubicación de los 69 tanques de almacenamiento a estudio por el Área de Salud, sin embargo, la DAS proporcionó técnicos de saneamiento que guiaron y acompañaron hacia los tanques de estudio.

Otro factor que dificultó la investigación fue el transporte de las muestras desde los tanques de almacenamiento de agua, que se encontraban en caseríos y aldeas de Escuintla de difícil acceso hasta la ciudad de Guatemala. Para este fin se utilizaron hieleras a la temperatura especificada con compartimientos establecidos para cada muestra, las cuales se transportaron en un lapso de 24 horas al laboratorio.

4.8.2 Alcances

La investigación pretende obtener resultados importantes para la salud pública del municipio de Escuintla. Al realizar este estudio se pudo conocer la calidad microbiológica del agua suministrada a la población del área urbana del municipio de Escuintla y se logró determinar los tanques de almacenamiento de agua que no cumplen con las normas guatemaltecas establecidas en COGUANOR NGO 29 001.

Uno de los propósitos de la investigación fue obtener una base de datos sobre la calidad microbiológica actual del agua de los tanques de almacenamiento del área urbana

de Escuintla, ya que no se contaba con dicha información. Se socializarán los resultados de la investigación con las autoridades municipales y autoridades de la DAS.

Los resultados podrán utilizarse para la elaboración de futuros planes de saneamiento y tratamiento del agua por medio de las autoridades municipales y autoridades del área de salud.

4.9 Aspectos éticos de la investigación

4.9.1 Principios éticos generales

La ética es esencial en investigación; según las normas internacionales para la valoración de ética, existen los principios éticos aplicados a la comunidad y a la epidemiología. La población que se estudió fueron los tanques de almacenamiento, por lo que se requirió previa autorización de las autoridades correspondientes del municipio, quienes proporcionaron la ubicación dentro de la comunidad. Apoyándose en las pautas elaboradas por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la OMS. Se aplicó la pauta 1; “Valor social y científico, y respeto a los derechos”, debido a que presenta valor social y valor científico con el propósito de brindar los resultados. Debido a que la presencia microbiológica de *E. coli* y coliformes totales representan riesgos para la salud de la población, se notificó al personal correspondiente para que tomen las acciones que consideren pertinentes, con el fin de mejorar las condiciones del agua, apoyando la salubridad de la comunidad.

5. RESULTADOS

Se presentan los resultados que se obtuvieron del estudio que se realizó a los 69 tanques de almacenamiento de agua potable, del municipio de Escuintla durante los meses de agosto y septiembre de 2020, para determinar la calidad microbiológica. De los 69 tanques de almacenamiento seleccionados se excluyeron seis, luego de aplicar criterios de exclusión. Se obtuvo una población final de 63 tanques de almacenamiento, de los cuales se recolectaron muestras de agua por los investigadores y analizadas por el laboratorio Hidroagua Soluciones S.A.

Con base en los resultados del laboratorio de 63 muestras de agua recolectadas de los tanques de almacenamiento, se determinó la presencia de *E. coli* y coliformes totales simultáneamente en 13 muestras que corresponden al 20.63%, siendo estos tanques de almacenamiento: Musunga Sur, Colonia Premier, San Luis el Mango, Costa Paraíso, Colonia Royal Hill, Residencial San Carlos, Andaluz, Residenciales la Rotonda, Colonia Modelo 2, Cañadas Guatelinda, Prados del Carmen, Colonia Santa Clara y Residenciales las Acacias. Por lo tanto 50 muestras de agua reportaron ausencia de *E. coli* y coliformes totales representando el 79.37 % del total de las muestras analizadas.

Tabla 5.1Determinación de *Escherichia coli* y coliformes totales en 63 tanques de almacenamiento de agua potable en el municipio de Escuintla.

Tanque de Captación	<i>E. coli</i> y coliformes totales	Tanque de Captación	<i>E. coli</i> y coliformes totales
Cubanitos	Ausente	Plaza Palmeras	Ausente
Santa Marta	Ausente	El Minuto	Ausente
Ferrocarrilera	Ausente	Agua Blanca	Ausente
Pozo Calvillo	Ausente	Colonia Jerusalén	Ausente
Pozo Quetzal	Ausente	Colonia Villas Esmeralda	Ausente
Hunapú	Ausente	Prados de San Jorge	Ausente
Musunga Sur	Presente	Prados del Río	Ausente
Colonia Concepción	Ausente	Colonia San Cristóbal	Ausente
Condado Esmeralda	Ausente	Residenciales los Prados	Ausente
Residenciales la Ceiba	Ausente	Cañadas Guatelinda	Presente
Cañadas de Buena vista	Ausente	Residenciales Vistas de Cecilia	Ausente
Colinas de Mauricio	Ausente	Colonia Cascada	Ausente
Colonia Palma Real	Ausente	El Pabellón	Ausente
Solares del Campo	Ausente	Colonia el Bosque	Ausente
Colonia Premier	Presente	Colonia Villas del Sol	Ausente
Plaza Pradera	Ausente	El Carmen	Ausente
Aguas Vivas	Ausente	Condado San Miguel	Ausente
Condominio Golondrinas	Ausente	Altos de Premier	Ausente
San Luis el Mango	Presente	Colonia Calvillo	Ausente
Costa Paraíso	Presente	Prados del Carmen	Presente
Colonia Royal Hill	Presente	Colonia Ciudad Palmares	Ausente
Residencial Hill	Ausente	La Dignidad	Ausente
Residencial San Carlos	Presente	Centro Comercial Interplaza	Ausente
Andaluz	Presente	Comercial Costa Grande	Ausente
Residenciales la Rotonda	Presente	Hospital IGSS	Ausente
Residencial Málaga	Ausente	Colonia Santa Clara	Presente
San José	Ausente	Jacarandas II	Ausente
Alamedas el Modelo	Ausente	Las Brisas	Ausente
Colonia Modelo 2	Presente	Sebastopol	Ausente
Colonia Conacaste	Ausente	Hospital Nacional	Ausente
Musunga Norte	Ausente	Residenciales las Acacias	Presente
Colonia Palma de Oro	Ausente		

6. DISCUSIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, cada ser humano tiene derecho al acceso de agua potable y al no cumplirse se convierte en un problema sanitario, ambiental, social y económico, por lo tanto, surge la necesidad de determinar la calidad del agua para consumo con el fin de evitar perjudicar la salud de la población, ya que, al comprometerse la calidad del agua por agentes infecciosos, suele generar enfermedades.¹

El municipio de Escuintlano cuenta con información actualizada respecto a la calidad microbiológica del agua. El único estudio publicado sobre la calidad de los abastecimientos de agua de la cabecera departamental de Escuintla fue realizado por Barillas en 1983, donde se estudió la calidad de los dos abastecimientos de agua del municipio, según los resultados de los análisis microbiológicos no se encontraban dentro de los límites normados, por lo que representaba un riesgo para la salud del consumidor.¹⁰

En la actualidad, Escuintla cuenta con 69 tanques de almacenamiento de agua que abastecen al área urbana del municipio, sin embargo, seis tanques de almacenamiento de agua se excluyeron, ya que no se encontraban en funcionamiento en el momento de la toma de la muestra, lo cual representaba un criterio de exclusión. El estudio reveló que el 79.37 % de los tanques estudiados distribuyen agua potable, sin embargo, se evidenció que el 20.63 % de los tanques distribuyen agua con presencia de *E. coli* y coliformes totales.

En el año de 2005 Zanotti realizó un estudio similar en el municipio de Palín, Escuintla donde concluyó que las muestras tomadas de nueve puntos de la red de distribución de agua para consumo humano, no eran aptas según las normas COGUANOR NGO 29 001 y era un riesgo para la salud de los consumidores. Asimismo, en el año 2012 en San Vicente Pacaya del departamento de Escuintla, Monroy evidenció que el agua del municipio mostró resultados positivos para coliformes totales y coliformes fecales como *E. coli*, por lo que no se consideró apta para consumo humano.¹¹ Estos estudios se pueden comparar con la presente investigación ya que demuestran que el agua a nivel departamental aún presenta deficiencia en su potabilización y distribuye agua no apta para la población. Aunque la mayoría de muestras

de agua en el municipio de Escuintla fueron microbiológicamente seguras para su consumo, 13 tanques de almacenamiento de agua no cumplen con las normas microbiológicas establecidas según COGUANOR NGO 29 0001.

En el municipio de Escuintla existe una alta incidencia de ETAs según datos obtenidos de SIGSA, se puede inferir que la contaminación del agua es una de las posibles causas.² Diversos estudios han relacionado la presencia de *E. coli* y coliformes totales con la deficiencia de cloro en el agua de consumo. Esta asociación se pudo demostrar en el estudio realizado en el año 2011 por Nájera donde relacionó la prevalencia de EDA y las técnicas de tratamiento de agua en Baja Verapaz. En el estudio se reveló que en las semanas en las que no hubo cloración, se detectaron altos niveles de contaminación y se concluyó que la cloración del agua adecuada actuaba como factor protector para los habitantes del departamento para prevenir enfermedades.¹³ Por lo que la presencia de contaminación microbiológica en el agua de los tanques de almacenamiento de Escuintla podría indicar una posible deficiencia de cloración lo cual predispone a un crecimiento microbiológico en el agua.

En el municipio de Escuintla se estableció que el 20.63 % de las muestras de agua presentaron contaminación microbiológica, las muestras fueron tomadas al inicio de la red de distribución en los tanques de almacenamiento. En el departamento de Chimaltenango se realizó un estudio en el año 2018 sobre el análisis microbiológico del agua en siete municipios del departamento. Las muestras de agua se obtuvieron del trayecto en la red de distribución y se determinó que el 77 % de los hidrantes públicos presentaron contaminación microbiológica con *E. coli* y coliformes totales, solamente el 23 % de las muestras de agua resultaron aptas para el consumo humano.¹⁵ Ambos estudios difieren en el punto de toma de muestra, esta diferencia es de importancia debido a que si se presenta contaminación al inicio de la red de distribución, es probable que se distribuya agua insalubre en todo el sistema de agua.

Estudios alrededor del mundo demuestran que la contaminación del agua es prevalente. En Bolivia se efectuó una investigación de los sistemas de agua de consumo humano, se analizó el agua de 109 pozos donde el 61.4 % de las muestras resultaron contaminadas con coliformes totales y *pseudomonas aeruginosa*, asimismo de la red de distribución domiciliaria, se demostró que el 56.8 % de 102 muestras presentaron contaminación.⁸ Al igual que éste estudio, se evidencia que la población es abastecida con agua no potable, por lo que es importante realizar los análisis pertinentes del agua.

Según el Acuerdo Gubernativo No. 113-2009 se debe realizar periódicamente un análisis bacteriológico, fisicoquímico y de cloro residual de todos los sistemas de agua que abastecen al municipio de Escuintla, sin embargo, estos análisis no se realizan por falta de disponibilidad de recursos económicos.⁵ Las autoridades del área de salud del municipio de Escuintla no cuentan con una base de datos de la calidad microbiológica del agua, ya que hasta el momento no se había realizado un análisis de la totalidad de tanques de almacenamiento del área urbana. Esta investigación da a conocer la calidad microbiológica del agua de 63 tanques ubicados en el área urbana del municipio.

La contaminación fecal en el agua aumenta el riesgo de enfermedades potencialmente peligrosas, especialmente en la población infantil menor a cinco años.² Si bien esta investigación no correlaciona la incidencia actual de enfermedades transmitidas por agua y alimentos con la calidad microbiológica del agua de Escuintla, los antecedentes indican una relación directa entre la calidad del agua y problemas en la salud de los consumidores como ETAs, desnutrición crónica, retraso en el crecimiento y desarrollo, entre otras.³ Al conocer los tanques de almacenamiento contaminados microbiológicamente, se puede identificar a la población en riesgo y de esta manera prevenir ETAs mediante el cumplimiento de las normas establecidas por COGUANOR NGO 29 001 para la potabilización del agua.

7. CONCLUSIONES

- 7.1 La calidad microbiológica del agua en los tanques de almacenamiento del área urbana en el municipio de Escuintla se considera microbiológicamente segura en la mayor parte de los tanques evaluados.
- 7.2 La contaminación de los tanques de almacenamiento del municipio de Escuintla por *Escherichia coli* y coliformes totales corresponde al 20.63%.
- 7.3 Los tanques de almacenamiento de agua que presentaron contaminación por *Escherichia coli* y coliformes totales están ubicados en Colonia Premier, Musunga Sur, San Luis el mango, Costa Paraíso, Colonia Royal Hill, Residencial San Carlos, Andaluz, Residenciales la Rotonda, Colonia Modelo 2, Cañadas Guatelinda, Prados del Carmen, Colonia Santa Clara y Residenciales las Acacias.

8. RECOMENDACIONES

8.1 A la municipalidad del municipio de Escuintla:

- Crear un plan de acción por parte de su unidad para proporcionar agua de calidad a las comunidades que presentaron contaminación en los tanques de almacenamiento.
- Establecer medidas de cloración y análisis de calidad del agua periódicamente para garantizar condiciones sanitarias adecuadas de los suministros de agua y su red de distribución.

8.2 A los técnicos de saneamiento ambiental del área de salud de Escuintla

- Realizar un registro de calidad de agua fisicoquímico y microbiológico según normas COGUANOR 29 001 con la frecuencia establecida en la ley y crear un informe detallado de los resultados.
- Realizar programa de capacitación constante a los encargados designados para cloración de agua en los tanques de almacenamiento, sobre la cantidad y frecuencia de cloración.
- Realizar campañas de concientización y educación a la población sobre buenos hábitos de higiene y medidas preventivas para evitar enfermedades gastrointestinales transmitidas por agua contaminada.
- Identificar el motivo de la contaminación y darle solución.

8.3 A la coordinación de trabajos de graduación –COTRAG- y futuros investigadores.

- Dar seguimiento a los resultados para determinar los factores asociados a la contaminación microbiológica de los tanques de almacenamiento y su relación con la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua.
- Continuar la línea de investigación de los aspectos físicos y químicos de los tanques de almacenamiento del área urbana del municipio de Escuintla, por ser el agua un recurso vital para los humanos.

8.4 A la población del municipio de Escuintla:

- Informarse sobre la adecuada técnica de cloración del agua, así como el correcto almacenamiento, para evitar la contaminación y futuras enfermedades de tipo gastrointestinal.

9. APORTES

Por medio del análisis de muestras de agua de los tanques de almacenamiento se pudo obtener una base de datos actualizada de la calidad microbiológica del agua del área urbana en el municipio de Escuintla. La presente investigación da a conocer la ubicación de los tanques que proveen agua no potable a la población.

Se proporciona un informe del análisis del agua en forma física a las autoridades involucradas de la Dirección del Área de Salud de Escuintla, a la unidad de Saneamiento del Centro de Salud de Escuintla y al departamento de aguas y drenajes de la Municipalidad de Escuintla con el fin de que, dichas autoridades conozcan las ubicaciones de los tanques de almacenamiento de agua microbiológicamente no apta para el consumo humano.

Con la información recolectada en esta investigación se puede crear un plan de intervención para mejorar la potabilización del agua en beneficio de la salud de la población. Éste estudio podría ser la base para futuras investigaciones sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de Escuintla.

10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Mundial de la Salud. Agua [en línea]. Ginebra: OMS; 2019 [citado 6 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
2. Sistema de Información Gerencial de Salud. Morbilidad por IRAs y ETAs [en línea]. Guatemala: SIGSA; 2020 [actualizado 8 Ene 2020; citado 6 Mar 2020]. Disponible en: <https://sigsa.mspas.gob.gt/datos-de-salud/morbilidad/morbilidad-por-iras-y-etas>
3. Guatemala. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala. Guatemala: SEGEPLAN; 2006. [citado 9 Jun 2020]. Disponible en: http://www.infom.gob.gt/archivos/Docs-Pdf/DocumentosTecnicos/Diagnostico_del_Agua_Guatemala.pdf
4. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento [en línea]. Guatemala: MSPAS; 2013. [citado 9 Jun 2020]. Disponible en: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/PoliticaNacionalAPS/PoliticaNacionalSectorAguaPotableSaneamiento.pdf>
5. Guatemala. Congreso de la República. Acuerdo gubernativo No.113-2009, Reglamento de Normas sanitarias para la administración, construcción, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 2009 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/2VXjete>
6. Guerra A. Agua potable para comunidades rurales y escuelas basada en el almacenamiento del agua de lluvia un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla [en línea]. Guatemala: SENACYT; 2017. [citado 9 Jun 2020]. (Serie Proyecto MULTICYT N°.02-2015). Disponible en: https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/04/MULTI-02_2015_ICC.pdf
7. Rodriguez-Alvarez MS, Moraña LB, Salusso MM, Gil J, Seghezzo L. Usefulness of local health reports to link the incidence rate of diarrhea with the quality of drinking

- water. Rev Argent Microbiol [en línea]. 2018 [citado 15 Abr 2020]; 50 (6): 374-379. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754117301852>
8. Camacho Camata JJ, Escobar Hinojosa ML, Angulo Torres R, Rocha J, Rojas Terrazas LF. Calidad microbiológica de los sistemas de agua de consumo humano municipio de Colcapirhua. Rev Científica Salud UNITEPC [en línea]. 2019 [citado 15 Abr 2020]; 6 (1): 8–14. Disponible en: <https://investigacion.unitepc.edu.bo/revista/index.php/revista-unitepc/article/view/47/97>
9. Organización Panamericana de la Salud. Agua y saneamiento [en línea]. Guatemala: OPS; 2013 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=789:agu-a-y-saneamiento&Itemid=405
10. Barillas Rodas EA. Evaluación de la calidad de los abastecimientos de agua potable de la cabecera departamental de Escuintla para definir sus usos benéficos. [tesis Ingeniero Químico]. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1983.
11. Zanotti Guerra PI. Determinación de la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano que se suministra a la población del municipio de Palín, Escuintla. [tesis Química Bióloga en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2005. [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2319.pdf
12. Maldonado Ramos FJ. Análisis de la calidad de agua para consumo humano en el área urbana del Puerto de San José en el departamento de Escuintla. [tesis Ingeniero Químico en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 2006 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1008_Q.pdf
13. Nájera Romero MM, Nájera Romero KM, García Díaz SE, Andrade Spatz JC, Cabrera Berganza FJ. Técnicas de tratamiento de agua y prevalencia de enfermedad diarreica agua. [tesis Médico y Cirujano en línea]. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas; 2011 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <http://bibliomed.usac.edu.gt/tesis/pre/2011/071.pdf>
14. Monroy García EM. Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la norma COGUANOR NGO 29001:99.

- [tesis de Maestría en línea]. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2012 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3303.pdf
15. Corado Martínez CV, Dardón Rodríguez MC, Coyote Cumes AF, Méndez Barrios CD, Cifuentes de León AM, Ibañez de la Cruz AS. Calidad microbiológica de la red de distribución de agua potable en Chimaltenango, Guatemala. [tesis Médico y Cirujano en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas; 2018 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <http://bibliomed.usac.edu.gt/tesis/pre/2018/025.pdf>
16. Navichoque Pérez FYA. Evaluación Cualitativa de la Influencia Estacional en la Calidad del Agua, por Medio de la Determinación del ISCA, del Río Bijagüe de la Ciudad de Guatemala. [tesis Ingeniera Química en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 2018 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1735_Q.pdf
17. Del Valle Soria FA. Agua: generalidades y potabilización. Rev DELOS [en línea]. 2019 [citado 8 Mar 2020];12 (34):1-12. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/delos/34/agua.html>
18. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciclo del agua [en línea]. México: B@UNAM de la Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia; 2020 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/ciclo_del_agua/
19. Cardenas Garrido J. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua potable que se distribuye en el municipio de Zaragoza, Chimaltenango [tesis Químico Farmacéutico en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia; 2016 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3889.pdf
20. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano [en línea]. 4 ed. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2011 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
21. Pérez López E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. Rev Tecnología en Marcha [en línea]. 2016 [citado 13 Mar 2020]; 29 (3): 3–14. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n3/0379-3982-tem-29-03-00003.pdf>

22. Guatemala. Ministerio de Economía. Comisión Guatemalteca de Normas 29001 [en línea]. Guatemala: Comisión Guatemalteca de Normas; 2013 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <http://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/04-COGUANOR-NTG-29-001-1a-Revision.pdf>
23. Casas Jiménes JJ, López López MJ, Salinas Bonillo MJ, Gisbert Gallego J, Giménez Luque E, García Barroso F, et. al. Práctica de laboratorio nº 2. Determinación de indicadores de contaminación fecal [en línea]. Almeria: Universidad de Almería; 2017 [citado 13 Mar 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3bArfea>
24. Tuesca Molina R, Prado Castañeda D, Ávila Rangel H, Sisa Camargo A. Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano [en línea]. Barranquilla: Universidad del Norte; 2015 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3buNylo>
25. Organización Mundial de la Salud. E. coli [en línea]. Ginebra: OMS; 2018 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
26. Canet JJ. Escherichia Coli: características, patogenicidad y alimentaria [en línea]. Valencia: BETELGEUX; 2016 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <http://www.betelgeux.es/blog/2016/01/19/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i/>
27. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: MSPAS; 2011 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3cOOSjv>
28. Real Academia Española. Agua [en línea]. Madrid: AE – ASALE; 2019 [citado 10 Mar 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/agua>
29. Concepto Definición. Agua potable [en línea]. Venezuela: Venemedia Comunicaciones; 2019 [citado 10 Mar 2020]. Disponible en: <https://conceptodefinicion.de/agua-potable/>
30. Real Academia Española. Tanque [en línea]. Madrid: AE – ASALE; 2019 [citado 10 Mar 2020]. Disponible en: <https://dle.rae.es/tanque#otras>
31. Guatemala. Ministerio de Economía. Perfil departamental de Escuintla [en línea]. Guatemala: Ministerio de Economía; 2017. Disponible en: http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/escuintla_2.pdf
32. Guatemala. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Plan de desarrollo, Escuintla, Escuintla [en línea]. Guatemala: SEGEPLAN; 2010 [citado 8

- Mar 2020]. Disponible en: <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/municipio-de-escuintla>
33. Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Resultados del Censo 2018. [en línea]. Guatemala: INE; 2018 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.censopoblacion.gt/>
34. Guatemala. Congreso de la República. Constitución Política de la República de Guatemala [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 1985 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://bit.ly/3cX0rVV>
35. -----. Acuerdo Gubernativo 178-2009, Reglamento para la certificación de la calidad del agua para consumo humano en proyectos de abastecimiento [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 2009 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AquaConsumoHumano/AcuerdoGubernativo1782009.pdf>
36. -----. Decreto Número 12-2002, Código Municipal [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 2002 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: https://conred.gob.gt/site/documentos/base_legal/codigo_municipal_12-2002.pdf
37. -----. Decreto Número 90-97, Código de Salud [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 1997. [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/legislations/PDF/GT/decreto_congresional_90-97.pdf
38. 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: Congreso de la República; 2009 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AquaConsumoHumano/AcuerdoMinisterial1148-09.pdf>
39. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Acuerdo Ministerial No.SP-M-278-2004, Crear el programa nacional de vigilancia de la calidad de agua para consumo humano [en línea]. Guatemala: Congreso de la República; 2004 [citado 8 Mar 2020]. Disponible en: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AquaConsumoHumano/AcuerdoMinisterial278-2004.pdf>
40. Pérez LR. Tanque de almacenamiento [en línea]. Suiza: SSWM; 2017 [citado 22 Abr 2020]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de->

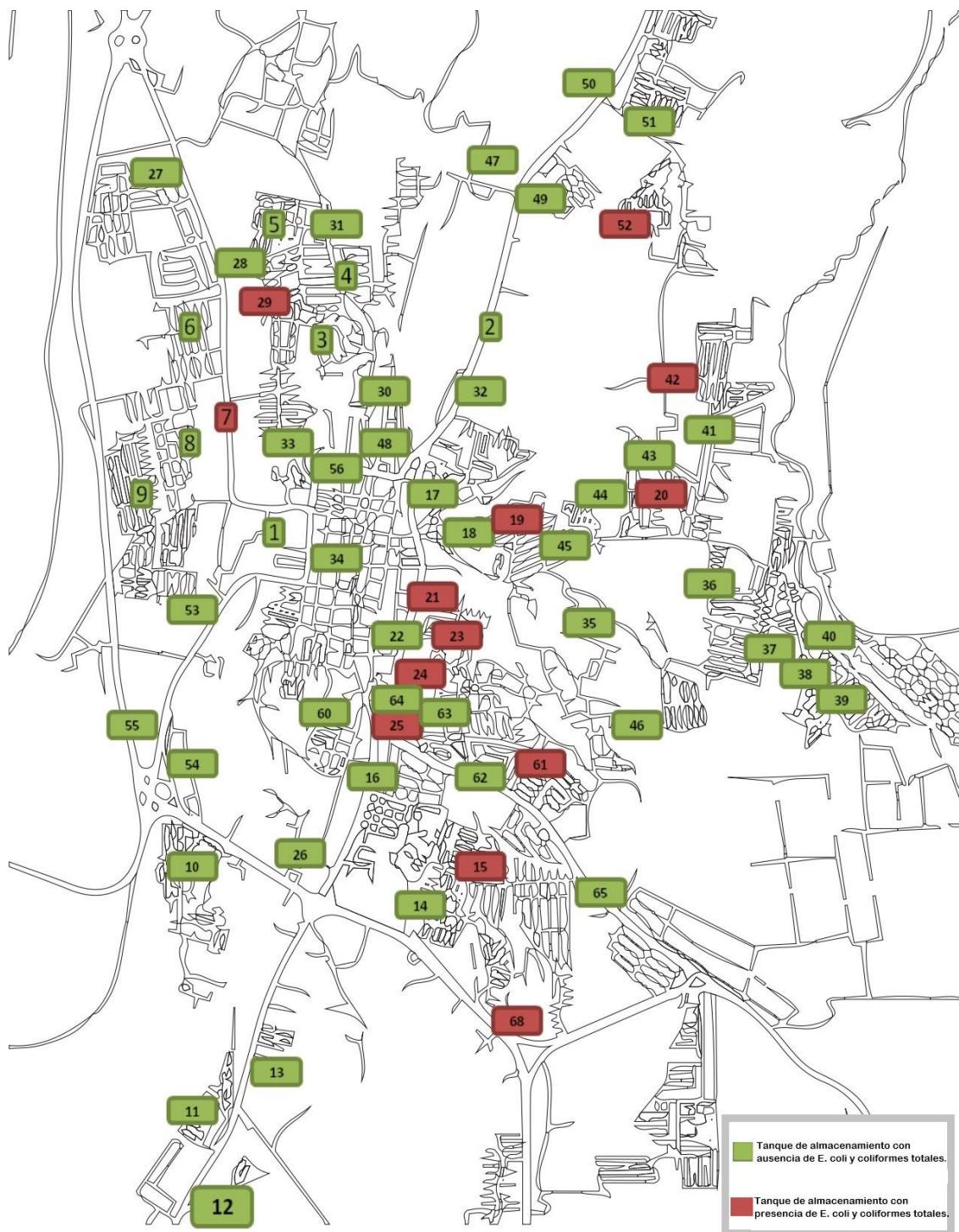
almacenamiento

41. López Cárcamo BR. Manual de Prácticas de Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos para 9no. y 10mo. año de EDC de Química Biológica del 2020. Guatemala: Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos USAC; 2020.

11. ANEXOS

Anexo 1

Croquis de tanques de almacenamiento ubicados en el área urbana del municipio de Escuintla



Fuente: Elaborado por investigadores durante la toma de muestras de agua.

Anexo 2

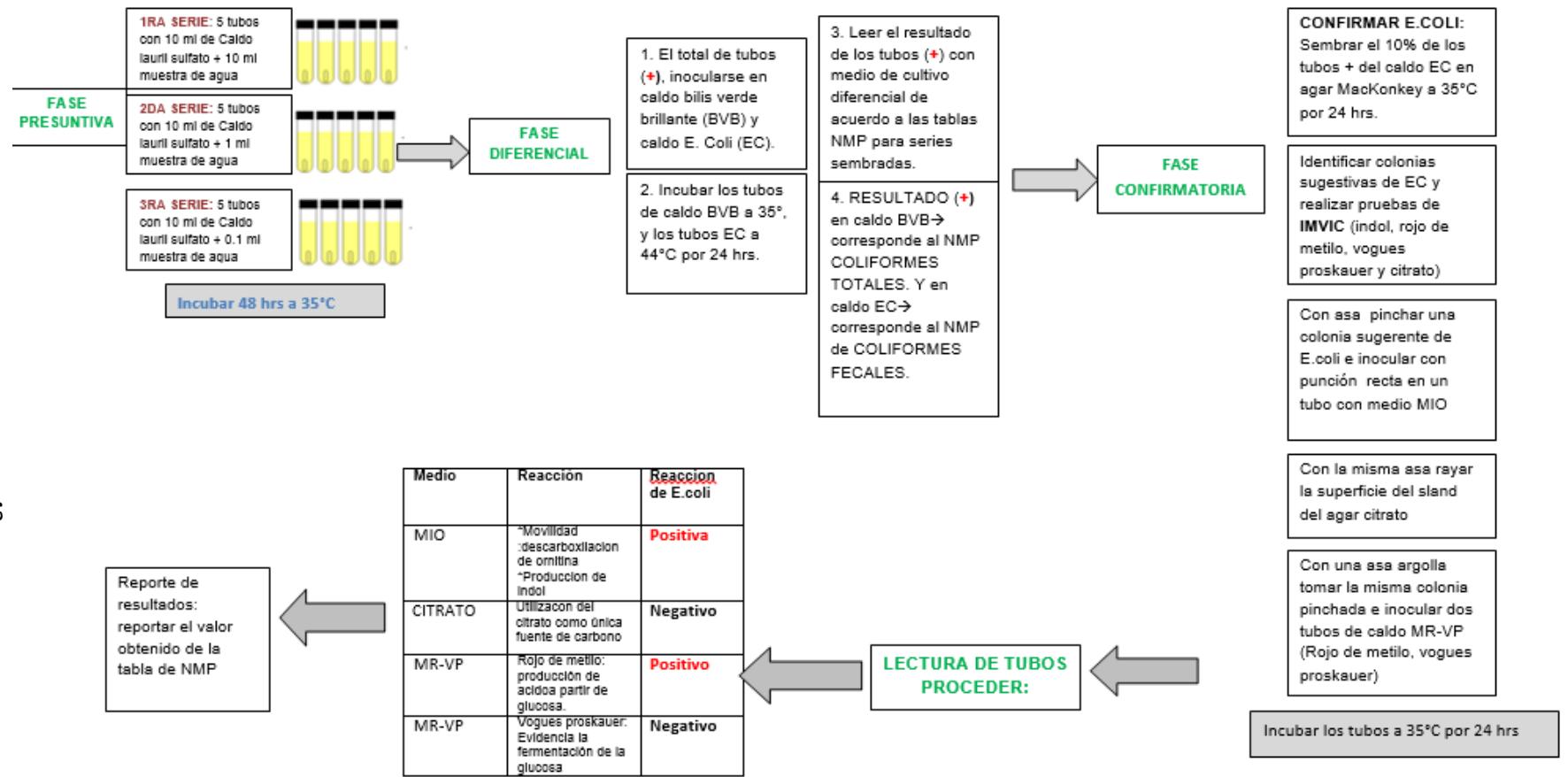
Listado de tanques de almacenamiento

Numero	Tanque de almacenamiento	Numero	Tanque de almacenamiento
1	Cubanitos	33	Plaza Palmeras
2	Santa Marta	34	El Minuto
3	Ferrocarrilera	35	Agua Blanca

4	Pozo Calvillo	36	Colonia Jerusalen
5	Pozo Quetzal	37	Colonia Villas Esmeralda
6	Hunapu	38	Prados de San Jorge
7	Musunga Sur	39	Prados del Río
8	Colonia Concepción	40	Colonia San Cristóbal
9	Condado Esmeralda	41	Residenciales los Prados
10	Residenciales la Ceiba	42	Cañadas Guatelinda
11	Cañadas de Buena vista	43	Residenciales Vistas de Cecilia
12	Colinas de Mauricio	44	Colonia Cascada
13	Colonia Palma Real	45	El Pabellón
14	Solares del Campo	46	Colonia el Bosque
15	Colonia Premier	47	Colonia Villas del Sol
16	Plaza Pradera	48	El Carmen
17	Aguas Vivas	49	Condado San Miguel
18	Condominio Golondrinas	50	Altos de Premier
19	San Luis el Mango	51	Colonia Calvillo
20	Costa Paraíso	52	Prados del Carmen
21	Colonia Royal Hill	53	Colonia Ciudad Palmares
22	Residencial Hill	54	La Dignidad
23	Residencial San Carlos	55	Centro Comercial Interplaza
24	Andaluz	56	Comercial Costa Grande
25	Residenciales la Rotonda	60	Hospital IGSS
26	Residencial Málaga	61	Colonia Santa Clara
27	San José	62	Jacarandas II
28	Alamedas el Modelo	63	Las Brisas
29	Colonia Modelo 2	64	Sebastopol
30	Colonia Conacaste	65	Hospital Nacional
31	Musunga Norte	68	Residenciales las Acacias
32	Colonia Palma de Oro		Tanques de almacenamiento con presencia de <i>E. coli</i> y coliformes totales.

Anexo 3

Rutacrítica de análisis microbiológico de agua por el método de fermentación de tubos múltiples expresado en NMP.



Anexo 4

Tabla Número Más Probable

Tabla Número Más Probable cuando se utilizan series de 5 tubos

Pos* 10;1;0,1	NMP	Pos* 10;1;0,1	MPN	Pos* 10;1;0,1	MPN								
000	<1.8	100	2	200	4.5	300	7.8	400	13	500	23		
001	1.8	101	4	201	6.8	301	11	401	17	501	31		
002	3.6	102	6	202	9.1	302	13	402	21	502	43		
003	5.4	103	8	203	12	303	16	403	25	503	58		
004	7.2	104	10	204	14	304	20	404	30	504	76		
005	9	105	12	205	16	305	23	405	36	505	95		
010	1.8	110	4	210	6.8	310	11	410	17	510	33		
011	3.6	111	6.1	211	9.2	311	14	411	21	511	46		
012	5.5	112	8.1	212	12	312	17	412	26	512	64		
013	7.3	113	10	213	14	313	20	413	31	513	84		
014	9.1	114	12	214	17	314	23	414	36	514	110		
015	11	115	14	215	19	315	27	415	42	515	130		
020	3.7	120	6.1	220	9.3	320	14	420	22	520	49		
021	5.5	121	8.2	221	12	321	17	421	26	521	70		
022	7.4	122	10	222	14	322	20	422	32	522	95		
023	9.2	123	12	223	17	323	24	423	38	523	120		
024	11	124	15	224	19	324	27	424	44	524	150		
025	13	125	17	225	22	325	31	425	50	525	180		
030	5.5	130	8.3	230	12	330	17	430	27	530	79		
031	7.4	131	10	231	14	331	21	431	33	531	110		
032	9.3	132	13	232	17	332	24	432	39	532	140		
033	11	133	15	233	20	333	28	433	45	533	180		
034	13	134	17	234	22	334	31	434	52	534	210		
035	15	135	19	235	25	335	35	435	59	535	260		
040	7.5	140	11	240	15	340	21	440	34	540	130		
041	9.4	141	13	241	17	341	24	441	40	541	170		
042	11	142	15	242	20	342	28	442	47	542	220		
043	13	143	17	243	23	343	32	443	54	543	280		
044	15	144	19	244	25	344	36	444	62	544	350		
045	17	145	22	245	28	345	40	445	69	545	440		
050	9.4	150	13	250	17	350	25	450	41	550	240		
051	11	151	15	251	20	351	29	451	48	551	350		
052	13	152	17	252	17	352	32	452	56	552	540		
053	15	153	19	253	26	353	37	453	64	553	820		
054	17	154	22	254	29	354	41	454	72	554	1600		
055	19	155	24	255	32	355	45	455	81	555	>1600		

Fuente:López Cárcamo BR. Manual de Prácticas de Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos para 9no. y 10mo. año de EDC de Química Biológica del 2020.1 ed. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala; 2020.

Anexo 5

Instrumento de recolección de datos



INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**“CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN EL ÁREA URBANA
DEL MUNICIPIO DE ESCUINTLA”**



SECCIÓN I	
DATOS GENERALES DE LA COMUNIDAD	
Número de tanque municipal de almacenamiento	
Dirección exacta de ubicación	

SECCION II	
CARACTERÍSTICAS DE LA TOMA DE MUESTRA	
Hora de recolección de la muestra	
Fecha de recolección de la muestra	Día Mes Año
Nombre del investigador	
Fecha de procesamiento de muestra	Día Mes Año

SECCIÓN III (Laboratorio)		
CARASCTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS		
Fecha de procesamiento de muestra	Día	Mes
Coliformes totales en 100 ml de agua	Si	No
<i>Escherichia Coli</i> en 100 ml de agua	Si	No