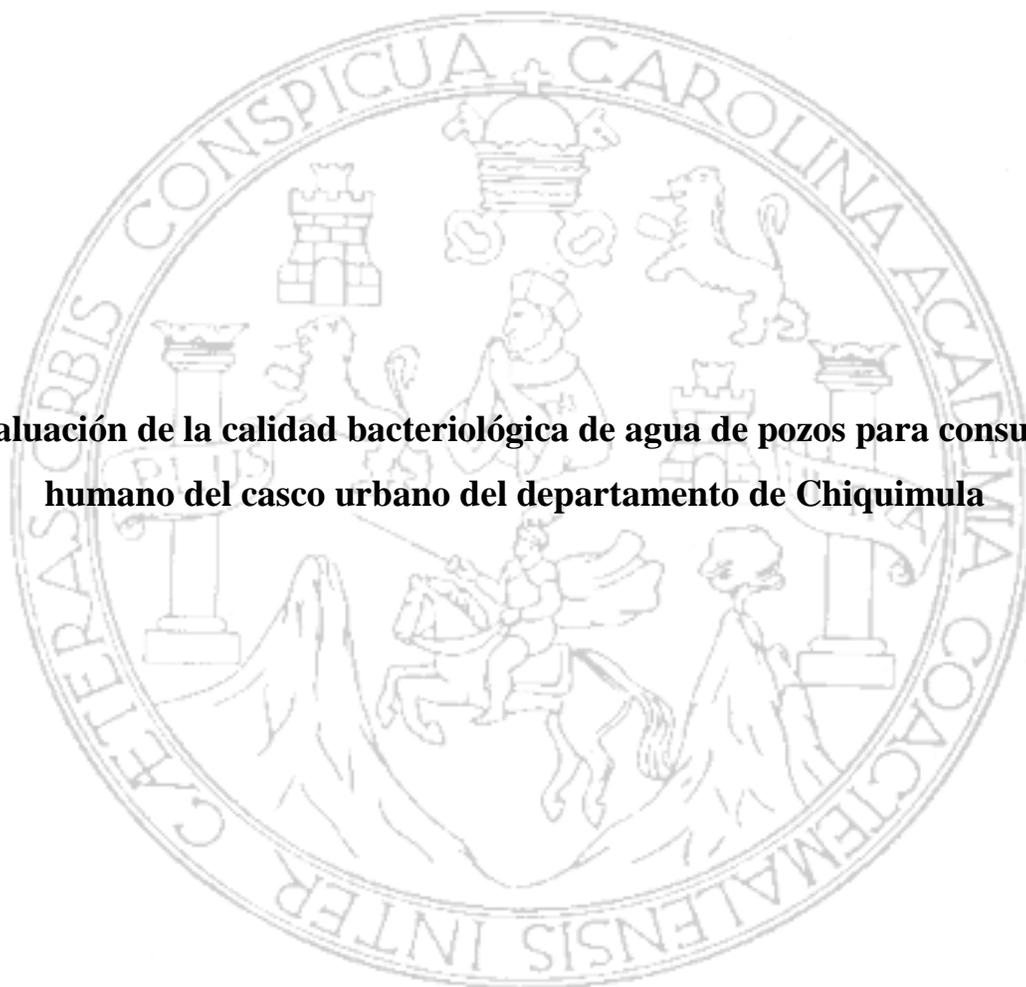


**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**

Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula



Jackeline Haydee Hernández Castillo

Química Bióloga

Guatemala, Octubre 2012

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

Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula

Proyecto de Investigación

Presentado por

Jackeline Haydee Hernández Castillo

Para optar al título de
Química Bióloga

Guatemala, Octubre 2012

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.

Decano

Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.

Secretario

Licda. Liliana Vides de Urizar

Vocal I

Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares

Vocal II

Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli

Vocal III

Br. Fausto René Beber García

Vocal IV

Br. Carlos Francisco Porras López

Vocal V

ÍNDICE

	Página
I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	1
II. RESUMEN	4
III. ANTECEDENTES	5
A. Generalidades	5
B. El agua y sus usos	6
C. Agua potable	7
D. Aguas subterráneas	9
E. La contaminación del agua y los riesgos para la salud	8
F. Procesos de tratamiento de aguas	12
G. Desinfección del agua para uso humano	12
H. Análisis físico, químico y bacteriológico	13
I. Indicadores de contaminación fecal	17
J. Bacterias del grupo coliforme	18
K. Métodos de análisis bacteriológicos	20
L. Aspectos legales para la calidad del agua	21
M. Estudios realizados sobre el control de calidad del agua	23
N. Chiquimula	24
IV. JUSTIFICACIÓN	26
V. OBJETIVOS	27
A. General	27
B. Específicos	27
VI. HIPÓTESIS	28
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	29
A. Universo de trabajo	29
B. Recursos	29
C. Materiales	29
D. Metodología	31
E. Diseño de investigación	32
VIII. RESULTADOS	34
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
X. CONCLUSIONES	43
XI. RECOMENDACIONES	44
XII. REFERENCIAS	45
XIII. ANEXOS	49

I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

Proyecto macro:

Evaluación fisicoquímica, microbiológica y medición del caudal en pozos de agua para consumo humano en el casco urbano del departamento de Chiquimula.

Proyecto de Investigación:

Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula.

Ámbito de Investigación del Proyecto macro:

El trabajo de investigación tiene como objetivo principal caracterizar y evaluar el agua de los pozos para consumo humano, así como determinar el número de pozos existentes en el casco urbano y evaluar la concentración de contaminantes químicos y bacteriológicos en agua de pozo para consumo humano.

Se pretende establecer la relación entre la variación del nivel del manto freático con las concentraciones de contaminantes químicos y bacteriológicos en el casco urbano del municipio de Chiquimula.

El proyecto de investigación se desarrollara en tres fases:

Primera Fase

- Determinación de número existente de pozos: se realizará un muestreo aleatorio estratificado, en el cual se calculará el número de muestras a tomar, con base al número total de viviendas existentes en el casco urbano de Chiquimula, contando con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN-.

- Toma de muestras de agua: para la selección de muestras de agua a tomar, se utilizará como criterio base los pozos cercanos a los ríos Taco, Shusho y Sasmó, desde su inicio hasta su desembocadura en el río San José. Cada punto seleccionado será georeferenciado, por medio de un GPS.

Segunda Fase

- Análisis de laboratorio: las metodologías para realizar análisis químicos y bacteriológicos, serán implementadas en el laboratorio ambiental, dentro de las instalaciones del CUNORI-USAC.

Análisis Químico: servirá para conocer el grado de contaminación derivada de jabones, detergentes y demás artículos domésticos de limpieza.

Análisis microbiológico: servirá para conocer el grado y tipo de contaminación por microorganismos, usando como indicadores el grupo de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*.

- Aforo de pozos: la metodología será implementada en el laboratorio ambiental del CUNORI, dicho análisis brindará el caudal de pozos.

Tercera Fase

- Esta fase contempla: interpretación de resultados, divulgación de resultados y entrega de informe final del proyecto
- Importancia del Estudio: dará a conocer la situación actual del agua en cuanto a la calidad fisicoquímica y bacteriológica, presentando a las autoridades correspondientes para la toma de decisiones en manejo del agua en Chiquimula, ya que no existe un registro histórico de los datos de análisis de agua, por falta de organización y centralización de la información.

El proyecto de investigación es apoyado y financiado por:

- Dirección General de Investigación (DIGI)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- Instituto de investigaciones del Centro Universitario de Oriente CUNORI-USAC

Duración de Proyecto: 15 meses

Fecha de inicio: Febrero 2010 a Mayo 2011

II. RESUMEN

La presente investigación consistió en evaluar la calidad del agua de pozo domiciliar desde el punto de vista bacteriológico en el casco urbano del departamento de Chiquimula.

Para poder llevar a cabo la investigación de la calidad del agua de pozos en el departamento de Chiquimula, se contó con el apoyo de diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales. Se dio inicio al proyecto realizando una encuesta para hacer una estimación de la cantidad de pozos existentes en el casco urbano. Después de identificar y seleccionar los pozos se procedió a realizar los muestreos de calidad bacteriológica.

Se colectaron un total de 90 muestras provenientes de 30 pozos de origen domiciliar. El muestreo tuvo un período de duración de 3 meses durante la época seca, obteniéndose una muestra por cada pozo en cada mes. Las muestras fueron trasladadas y analizadas en el Laboratorio Ambiental del Centro Universitario de Oriente -CUNORI- Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados se compararon con los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*) incluidos en la Norma COGUANOR NGO 29001.

En el análisis bacteriológico el 87% de las muestras analizadas tuvo la presencia de coliformes totales, un 77% para coliformes fecales y un 50% tienen presencia de *Escherichia coli*, cantidades por arriba de los límites máximos permisibles que la norma exige. Con los resultados obtenidos se puede concluir que la mayor parte de agua de pozos del departamento de Chiquimula se encuentra contaminada, lo cual la hace no apta para consumo humano ya que no cumple con los parámetros microbiológicos permitidos por la norma COGUANOR NGO 29001. Se recomienda la implementación de medidas sanitarias medio ambientales que disminuyan el impacto de la contaminación del manto freático.

III. ANTECEDENTES

A. Generalidades

Las enfermedades infecciosas se transmiten principalmente a través de las excretas de seres humanos y animales, en particular las heces. Si hay casos activos o portadores en la comunidad y el tratamiento de las aguas no es el adecuado se observará contaminación fecal de las fuentes de agua (1).

El uso de agua contaminada para beber o preparar alimentos o el contacto con ella durante el baño o el lavado de ropa e incluso la inhalación de vapor de agua o aerosoles pueden producir la infección (1).

Los agentes patógenos y los parásitos van perdiendo progresivamente su viabilidad y su patogenicidad cuando abandonan el organismo de su huésped. Esta pérdida es en general exponencial y transcurrido en cierto periodo, el patógeno dejará de ser detectable. Los patógenos con una baja persistencia deben hallar rápidamente un nuevo huésped y es más probable que ocurra por el contacto de persona a persona ya sea debido a una inadecuada higiene personal, de los alimentos o través del agua de bebida. Por lo general, la contaminación fecal se dispersa rápidamente en las aguas superficiales, los patógenos y parásitos más comunes transmitidos por el agua son los que poseen una alta patogenicidad o una gran resistencia fuera del organismo (2).

Dentro de los resultados presentados por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para el área de Chiquimula, dentro de las diez primeras causas de morbilidad infantil se observa el síndrome diarréico intenso con un 19.41%, el cual se encuentra dentro de las diez primeras causas de mortalidad en menores de un año (8.20%) y para niños de uno a cuatro años (23.33%). Siendo los infantes los de mayor vulnerabilidad ante enfermedades del tipo bacteriológico (3).

B. El agua y sus usos

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivientes sobre la tierra, siendo un elemento vital en la base de la vida. Es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta tierra, es parte integrante de la mayoría de los seres vivientes y está presente en gran cantidad de minerales. Sin embargo el exagerado aumento del consumo de agua comparado con el incremento de la población está provocando que su demanda sea un importante tema de seguridad nacional en muchos países. La cantidad de agua en la tierra es limitada, no renovable y sobre todo mal repartida en tiempo y espacio. Por ello el hombre está condenado a almacenar, bombear, reciclar o desalinizar cantidades cada vez mayores de agua (4).

El uso prioritario del agua es para satisfacer las necesidades de consumo de la población, es decir, un instrumento básico para el combate de la pobreza, ya que permite la conservación, mantenimiento y desarrollo de la vida; pero además tiene un costo y un precio para hacerla accesible, así como para mantener y operar los sistemas de servicios que lo hacen posible (5).

Atendiendo a su uso se clasifica de la manera siguiente:

- Doméstico: comprende el consumo de agua para la alimentación, limpieza de viviendas, lavado de ropa, higiene y aseo personal.
- Comercial: uso en locales comerciales, en ventas de carnes, aves, pescado, venta de frutas y verduras, cafeterías, mercados cantonales, salones de belleza, etc.
- Industrial: uso en procesos de fabricación de productos, en talleres, en la construcción.
- Agrícola: su uso en la crianza de ganado, del procesamiento de productos animales y del cultivo y cosecha de productos agrícolas (6).

C. Agua Potable

El agua potable significa que debe estar libre de microorganismos patógenos, minerales y sustancias orgánicas que puedan producir efectos fisiológicos adversos. Debe ser estéticamente aceptable y por lo tanto estar exenta de turbidez, color, olor y sabor desagradable. Puede ser ingerida o utilizada en el procesamiento de alimentos en cualquier cantidad, sin temor por efectos adversos sobre la salud (7).

Con las denominaciones de agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico radiactivo en concentraciones que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente (7).

El agua potable de uso domiciliario proveniente de un suministro público, como de pozo o de otra fuente, deberá cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas (7).

D. Aguas subterráneas

Desde tiempos remotos, en casi todas las civilizaciones el agua subterránea tuvo vital importancia, sin embargo la dificultad que existía para subir el agua a la superficie requería de mayores esfuerzos físicos y técnicos impidiendo así su implementación en gran escala. En el siglo XII despertó de nuevo el interés el cual se siguió desarrollando en los siglos posteriores, pero no fue sino hasta el siglo XX en donde la explotación de las aguas subterráneas ha alcanzado su mayor desarrollo, al solucionarse los problemas de extracción del agua y mejoras en la perforación de pozos mecánicos (5).

El agua que logra fluir a través del subsuelo en lo que se conoce como zona no saturada (agua subterránea), llega al manto freático y queda por encima de la zona saturada, es decir los espacios en donde todas las rocas y el suelo están llenas de agua. Las reservas o aguas subterráneas van a depender en gran medida de dos características del suelo, como

son: la permeabilidad (tamaño de espacios entre las rocas) y la porosidad (número de espacios entre las rocas). Otro factor importante o limitante en algunos casos para la explotación de los mantos acuíferos es la profundidad en la que se encuentren, si estos se encuentran a gran profundidad puede que no sea rentable (5).

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia filtrada hasta los mantos acuíferos después de fluir a través del subsuelo. El agua puede cargar muchas impurezas tales como partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, etc. Sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad; las partículas suspendidas y microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso, se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo. Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, hierro, manganeso, arsénico y flúor (8).

En muchos casos el agua es de buena calidad, libre de sólidos en suspensión y excepto en limitadas áreas donde han sido afectadas por la contaminación, puede usarse y beber directamente sin tratamiento, aunque siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua. Es importante mencionar que en los últimos años se ha detectado que algunos pozos pueden contener contaminación microbiológica que han logrado pasar los filtros naturales de roca, grava y arena la cual es proveniente de letrinas cercanas, tanques sépticos, pastoreo de ganado o contaminación de sustancias orgánicas sintéticas de productos agroquímicos, los cuales ponen en peligro la salud del hombre y el medio ambiente en general (8).

Una extracción técnica y apropiada del recurso hídrico subterráneo permite obtener un caudal constante y por consiguiente mantener el abastecimiento normal y sin riesgos de fallas en las comunidades ya sea para consumo humano, industrial, riego, etc. (8).

E. La contaminación del agua y los riesgos para la salud

1. Contaminación del agua

La contaminación creciente del agua plantea cada vez más problemas en materia de salud pública. En prácticamente todos los estudios realizados en varios países se han identificado problemas de salud vinculados a los contaminantes ambientales. En todo el mundo, 2.3 millones de personas padecen enfermedades relacionadas con el agua. La provisión de agua potable y el saneamiento adecuado reportaría importantes beneficios para la salud. Entre esos beneficios están incluidas, según las estimaciones, 2.1 millones menos de muertes por enfermedades diarreicas (9).

En muchos lugares tanto las aguas de superficie como las subterráneas están contaminadas con desechos industriales, agrícolas y municipales. De acuerdo con la Comisión Mundial sobre el Agua para el Siglo XXI, más de la mitad de los ríos principales del mundo están tan agotados y contaminados que ponen en peligro la salud humana y envenenan los ecosistemas circundantes. En muchas grandes ciudades de países en desarrollo los suministros de agua potable están contaminados (9).

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal (10).

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, etc.
- Pozos sépticos y acumulaciones de excremento procedentes de las granjas (10).

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarse. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en qué lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuáles no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar (10).

La contaminación difusa suele estar provocada por:

- Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interfase entre los dos tipos de aguas (10).

2. Riesgos para la salud

Las enfermedades transmitidas por el agua, se deben al uso del agua contaminada por desechos humanos, animales o químicos. Se estima que estas enfermedades causan 12 millones de muertes por año, 5 millones de ellas por enfermedades diarreicas. En su mayoría, las víctimas son niños de países en desarrollo (9).

El agua es fuente de vida y para los consumidores es necesario disponer de un abastecimiento satisfactorio, haciendo todo lo posible para obtener la mejor calidad que permita el proceso de purificación. Cuando se advierta la existencia de una situación potencialmente peligrosa, debe tomarse en consideración el riesgo para la salud, la disponibilidad de otras fuentes y la posibilidad de aplicar medidas correctivas apropiadas antes de decidir si es o no aceptable el abastecimiento de que se trata. La estimación de los riesgos que llevan consigo las variaciones de la calidad microbiana es difícil y da lugar a polémicas, debido a la insuficiencia de los datos epidemiológicos, al número de factores implicados y a las relaciones variables entre estos. En términos generales, los mayores

riesgos son los que representan microorganismos relacionados con la ingestión de agua contaminada con excremento de origen humano y animal. Las enfermedades diarreicas son producto en la mayoría de los casos, del consumo de agua o alimentos contaminados, afecta más a los niños, ancianos y a personas inmunocomprometidas. Si no se atiende de manera correcta y oportuna, puede ocasionar la muerte al paciente (Anexo 1) (11).

El riesgo que las sustancias químicas tóxicas que se encuentran en el agua de bebida presenta para la salud es distinto del que suponen los contaminantes microbiológicos. Son pocas las sustancias químicas presentes en el agua que pueden causar problemas de salud agudos, salvo por la contaminación accidental masiva del abastecimiento (11).

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que éstas pueden afectar negativamente a la salud tras períodos de exposición prolongados; son motivo de especial inquietud los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas como: metales pesados, plaguicidas e hidrocarburos (11).

A continuación se mencionan algunas enfermedades producidas por contaminación química del agua:

- Metahemoglobinemia infantil: consiste en la presencia de metahemoglobina, que es el producto de la oxidación incompleta de la hemoglobina en la sangre. Está ocasionada por el consumo de agua con un elevado porcentaje de nitratos.
- Fluorosis endémica crónica: esta es producida por un alto contenido de flúor en el agua, los síntomas son la presencia de manchas de color amarillo parduzco o casi negro en los dientes.
- Gastroenteritis: las causas de esta enfermedad son infecciones por ingerir alimentos contaminados por bacterias, virus, hongos y sustancias tóxicas contaminantes de agua como plomo, arsénico y hierro. Los síntomas de esta enfermedad son:

decaimiento, inapetencia, náusea, vómito, diarrea, dolores abdominales, fiebre y malestar general.

- Enfermedades cardiovasculares: un estudio realizado en el Reino Unido publicado en 1982 confirmó que la mortalidad por enfermedades cardiovasculares estaba estrechamente relacionada con la dureza del agua, con un descenso de mortalidad conforme la dureza se incrementaba. El efecto se presentaba tanto para el ataque al corazón como para enfermedades isquémicas pero no para enfermedades no cardiovasculares (7).

F. Procesos de tratamiento de aguas

Al decidir el proceso de tratamiento que se utiliza en un caso concreto, se debe tener en cuenta el tipo de fuente y la calidad de agua procedente, la intensidad del tratamiento dependerá del grado de contaminación en dicha fuente. Si ésta se encuentra contaminada es importante el tratamiento o la aplicación de múltiples barreras a la difusión de los organismos patógenos, lo cual garantiza un alto grado de protección y evita la dependencia de un solo proceso. Las fuentes de aguas subterráneas, como manantiales y pozos, han de situarse y construirse de tal manera que queden protegidas contra el desagüe de aguas superficiales y las inundaciones. Deben erigirse vallas en torno a ellas para impedir el acceso del público y se las debe mantenerse libres de basura. Se debe de cuidar que el terreno esté en pendiente para evitar que se formen charcos cuando llueva (12).

La finalidad del tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que puedan resultar perjudiciales para la salud. Los tratamientos recomendados para distintas fuentes a fin de obtener agua con riesgo insignificante de causar enfermedades (Anexo 2) (12).

G. Desinfección del agua para uso humano

La desinfección del agua tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en ella que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento, es necesaria como uno de los últimos pasos en la planta de tratamiento de agua

potable, para prevenir que esta sea dañina para la salud. Muchas veces, tratándose de agua de manantiales naturales o de pozo, la desinfección es el único tratamiento que se le da para obtener agua potable. Aunque los productos que más se utilizan con este fin son el cloro y el hipoclorito, también se pueden emplear cloraminas, dióxido de cloro, ozono y radiaciones ultravioleta (13).

La cloración en condiciones normales, puede reducir un 99% el número de *Escherichia coli* y de ciertos virus pero no el de quistes u ooquistes de parásitos (13).

H. Análisis físico, químico y bacteriológico

Los análisis físico y químico permiten conocer las propiedades de la muestra, lo cual representa un criterio indispensable para determinar la calidad del agua y proporciona otra información útil, pero no es lo suficientemente preciso para detectar pequeños grados de contaminación. Por otro lado, los análisis microbiológicos informan la presencia de materia orgánica de cualquier tipo de agua y se han diseñado de manera que sean sensibles y específicos para revelar cualquier contaminación (14).

1. Análisis físico

El análisis físico evalúa las características, relativas a su comportamiento físico, que determina su calidad. La calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, entre ellas la temperatura, turbidez, color y conductividad. Los sentidos organolépticos ayudan a analizar el agua relacionando parámetros que pueden ser medidos de esta forma y comprobándolos con estándares que se disponen en los laboratorios (14).

a. Temperatura

Es un parámetro básico e importante por los efectos que tiene sobre otros parámetros, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores, olores y mayor conductividad. La temperatura indica la transferencia de calor en un cuerpo de agua, es un parámetro importante por su efecto

sobre el medio ambiente, ya que la polución térmica es significativa después de los 37° C aproximadamente, pues altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de reacciones bioquímicas en seres vivos, así como también la actividad microbiológica en las aguas. La temperatura esperada en agua del departamento de Chiquimula oscila entre 30 a 38 °C debido a que es un área cálida, por lo tanto se esperaría que los valores de humedad se encuentren disminuidos (15).

b. Turbidez

Es una medida en la cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de sólidos coloidales, los cuales hacen que tenga una apariencia brumosa. Entre más turbia sea el agua, menor calidad tendrá, hará que sea poco atractiva a la vista y puede ser dañina. La turbidez se mide en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) y para que sea apta para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU y estar idealmente por debajo de 1 NTU (15).

c. Color

El color del agua está asociado con su color verdadero debido a las sustancias en solución y el color aparente es debido a las sustancias suspendidas. La existencia de determinados colores puede ser indicativo de la presencia de ciertos contaminantes. En general el agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a ácidos húmicos. La presencia de hierro puede producir un color rojizo y el manganeso un color negro. Según el color, los principales tratamientos de eliminación pueden ser de coagulación y filtración, la coloración o la adsorción con carbón activado. El color esperado para agua de pozos suele encontrarse por debajo de 5.0µ, según los límites máximos aceptables del normativo COGUANOR el cual se menciona más adelante (16).

d. Conductividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad, depende de la cantidad de sales disueltas y es aproximadamente proporcional al contenido de sólidos totales disueltos. La conductividad eléctrica para el agua de pozo en

el departamento de Chiquimula se espera que sea alta ya que los suelos presentan concentraciones elevadas de sales según estudios realizados anteriormente (17).

2. Análisis químico

Por medio de este análisis se determina el contenido de sales minerales y materia orgánica, el que se compara con los estándares para poder determinar su calidad, usos y cualquier proceso que deba ser sometida. Las actividades industriales generan contaminación al agua cuando hay presencia metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando se emplea un uso inadecuado de plaguicidas o fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos (14).

Los parámetros a evaluar son: pH, dureza, oxígeno disuelto, fosfatos, sulfatos, nitratos y nitritos.

a. pH

Es una medida de la naturaleza acida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica está influenciada por condiciones climáticas e hidrológicas y por actividades de organismos acuáticos. Normalmente se restringe a la escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento, lo que lo hace un parámetro importante para la determinación de la calidad de agua (18).

b. Dureza

La dureza total se debe a la dureza del carbonato formando por la presencia de carbonato ácido de calcio y carbonato ácido de magnesio, mientras que la dureza no carbonato (o permanente) se debe a otras sales de calcio o magnesio. La mayoría de acuíferos en el país tiene aguas duras por lo que se esperan valores elevados de dureza (7).

c. Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua que es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y del soporte que daría a la vida vegetal y animal. Generalmente un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 – 18 partes por millón (ppm). Para aguas de consumo humano se esperan valores altos de oxígeno disuelto favoreciendo un sabor agradable (15).

d. Fosfatos

El fósforo se considera un elemento limitante de la producción biológica. Se origina en las rocas ígneas y se encuentra en la corteza terrestre como fosfato, por lo que no existen reservas atmosféricas y es importante por la transferencia de energía. El intercambio de fosfatos entre el agua y los sedimentos está relacionado con la concentración de oxígeno (7).

e. Sulfatos

El ión sulfato corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3.000 ppm. El agua pura se satura de $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta su solubilidad (7).

f. Nitratos y Nitritos

Estos compuestos son parte del nitrógeno el cual es un nutriente esencial para las reacciones biológicas. Los nitratos derivan del nitrógeno más importante, los nitratos son muy solubles y se disuelven en las aguas subterráneas por infiltración directa, o si se encuentran una capa impermeable como la arcilla, por migración lateral por el suelo hasta encontrar un camino hasta el agua subterránea. Su presencia en altas cantidades indica contaminación de origen orgánico. Debido a la constante contaminación de ríos, drenajes y fosas sépticas aledañas a los pozos de agua, se espera encontrar valores elevados de nitratos y nitritos (7).

3. Análisis bacteriológico

Existe un grupo de enfermedades conocidas como enfermedades hídricas, debido a que su vía de transmisión es la ingestión del agua contaminada. Es entonces conveniente determinar la potabilidad desde el punto de vista bacteriológico usando métodos como filtración por membrana, fermentación de tubos múltiples o el método modificado para número más probable Colilert Quanti-Tray (19).

La búsqueda de microorganismos patógenos como *Salmonella* y *Shigella* trae algunos inconvenientes, debido a que normalmente aparecen en escasa cantidad ya que es un medio desfavorable para su crecimiento. La carencia de métodos sencillos y rápidos, llevan a que su investigación no sea satisfactoria, máxime cuando se hallan en número reducido (20).

En vista de estos inconvenientes se ha buscado un método más seguro para establecer la salubridad de las aguas, método que se basa en la investigación de bacterias coliformes y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal (20).

El agua que contenga bacterias de ese grupo se considera potencialmente peligrosa, pues en cualquier momento puede llegar a vehicular bacterias patógenas, provenientes de portadores sanos, individuos enfermos o animales (20).

I. Indicadores de Contaminación fecal

El agua tratada o sin tratar que circula por un sistema de distribución no debe contener ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal. Los principales organismos indicadores de contaminación fecal son *Escherichia coli*, las bacterias termorresistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales. La presencia de microorganismos del grupo coliforme representa un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. Los coliformes totales no son indicadores estrictos de contaminación de origen fecal, puesto que existen en el ambiente como organismos libres, sin embargo son buenos indicadores microbianos de la calidad de agua. *E. coli* es la única bacteria que se encuentra estrictamente ligada a las heces fecales de origen humano y de animales de

sangre caliente, por lo que ha de considerarse como marcador seguro de contaminación reciente y por lo tanto peligrosa que exige la aplicación de medicación urgente (6).

J. Bacterias del grupo coliforme

Son habitantes intestinales en el hombre y animales de sangre caliente, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales (21).

El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (21).

1. Coliformes totales

Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $35^{\circ} \text{C} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$ en un período de 24 a 48 horas, características que se investigan por el método de fermentación con tubos múltiples. Los coliformes representan un indicador biológico de la posible presencia de otros microorganismos patógenos o deteriorantes, debido a malas prácticas higiénicas, sanitarias o de contaminación de origen ambiental producida por descargas de materiales orgánicos (22).

El método de filtración se ha usado para la determinación del grupo coliforme total, para su interpretación se observa el crecimiento de colonias típicas color rosado a rojo con brillo metálico dorado en medio Endo C (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 horas a 35°C (22).

2. Coliformes fecales

Son bacterias que pueden encontrarse en el intestino humano y heces de animales, se consideran el principal indicador de contaminación fecal del agua de uso doméstico, industrial y otros. Su presencia en el agua es indicador de la calidad bacteriológica. Forman parte del grupo coliforme total, y son microorganismos que fermentan la lactosa con producción de gas a $44^{\circ} \text{C} \pm 0.2$ en un periodo de 24 a 48 horas (23).

Al grupo coliforme fecal también se le designa como termotolerante o termorresistente, comprenden el género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Los coliformes termorresistentes distintos de *E.coli* pueden provenir también de aguas orgánicamente enriquecidas, por ejemplo de efluentes industriales o de materias vegetales y suelos en descomposición. Como los organismos coliformes termorresistentes se detectan con facilidad, pueden desempeñar una importante función secundaria como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales (24).

a. *Escherichia coli*

Se encuentra dentro del grupo de coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44° C o 44.5° C con producción de gas, y que también producen indol a partir de triptófano. Su diferenciación del resto de coliformes es en base a las pruebas de IMVIC (Indol, Rojo de Metilo, Voges Proskauer y Citrato), a la β -galactosidasa y a β -glucuronidasa. El resultado de estas pruebas es positivo para Indol y Rojo de Metilo y negativo para Citrato y Voges Proskauer (22).

3. Otros microorganismos contaminantes del agua

El agua puede acarrear en su recorrido patógenos como *Salmonella typhi*, *Entamoeba histolytica*, *Shigella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus* y *Vibrio cholerae* los cuales ocasionan padecimientos gastrointestinales graves. Además de estos microorganismos, el agua puede transportar también huevos de parásitos intestinales como: *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma*, *Taenia saginata* y *Taenia solium*. Este último parásito es peligroso ya que además de los síntomas intestinales muy molestos y peligrosos, puede producir también cisticercosis cerebral de difícil tratamiento. Todas las enfermedades producidas por microorganismos patógenos o por parásitos intestinales pueden prevenirse teniendo la precaución de hervir el agua durante diez minutos como mínimo, el lavado de manos y no comer alimentos callejeros ampliamente contaminados (25).

K. Métodos de Análisis Bacteriológicos

1. Filtración por Membrana

El método de filtración por membrana es práctico y permite analizar grandes volúmenes de muestra obteniéndose resultados comparables con el procedimiento de Fermentación de Tubos Múltiples (26).

Se utilizan filtros de membrana de esteres de celulosa, con poros de 0.45 μm de diámetro que retienen las bacterias al filtrar con la ayuda de un sistema de vacío, las membranas son colocadas posteriormente en medios selectivos como: Agar Endo C o agar Chromocult, que contienen los nutrientes necesarios que favorecen el crecimiento de las bacterias que se desean identificar; primero se incuba durante 24 horas a 35° C, el segundo durante el mismo tiempo a 44° C (26).

2. Método de Fermentación de tubos Múltiples o Número Más Probable (NMP)

El método de NMP es considerado como estándar para la determinación del grupo coliforme, se fundamenta en que los microorganismos del grupo coliforme fermentan la lactosa, producen ácido y gas; es utilizado para determinar estadísticamente el número más probable de bacterias presentes en una muestra de agua o alimentos (26).

Este método se basa en tablas de probabilidad estadística, las cuales tienen un límite de confianza del 95 por ciento (27).

El método de NMP consta de tres fases: presuntiva, confirmatoria y complementaria. La fase presuntiva se realiza a través de la presencia de gas debido a la fermentación de la lactosa y turbidez en el medio; la fase confirmatoria utiliza el caldo Bilis Verde Brillante (BLVB), obteniendo el NMP de coliformes totales por gramo o mililitro de muestra. Los tubos de la fase presuntiva y los de la confirmatoria, deben incubarse durante 24 a 48 horas a 35° C. La fase complementaria se realiza a partir de los tubos de la fase confirmatoria, establece en definitiva la presencia de coliformes y es un control de calidad de los datos. Esta prueba puede hacerse por la doble confirmación de caldo Bilis Verde

Brillante para coliformes totales y caldo EC (para la determinación selectiva de coliformes fecales y *E.coli*) (27).

3. Método Modificado para NMP Colilert Quanti-Tray

Utiliza la Tecnología de Sustratos Definida[®] (DST[®]) para dos nutrientes indicadores, ONPG y MUG, son las fuentes principales de carbono en Colilert y pueden ser metabolizados por la enzima coliforme β -galactosidasa y la enzima β -glucuronidasa de *E. coli*, respectivamente. Cuando los coliformes totales metabolizan el indicador ONPG de nutrientes de Colilert, la muestra toma una coloración amarilla. Cuando *E. coli* metaboliza el indicador MUG de nutrientes de Colilert, la muestra fluoresce. Colilert puede detectar simultáneamente estas bacterias a una concentración de 1 UFC/100ml dentro de 24 horas hasta en presencia de 2 millones de bacterias heterotróficas por cada 100 ml. Es considerado un método estándar para examen del agua y de aguas residuales (28).

L. Aspectos Legales para la Calidad del Agua

Existen criterios como leyes, normas y estándares de calidad del agua, que determinan la calidad necesaria para el uso que se necesita. Estos varían dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), agua para uso agrícola o industrial y para la recreación, etc. (13).

Los límites permisibles de las diversas sustancias contenidas en el agua cruda son normados por la Organización Mundial de la salud (O.M.S), la Organización Panamericana de la Salud (O.P.S), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar de uno a otro dependiendo de sus intereses. Si el agua reúne estos requisitos o normas, se considera que es de buena calidad para el consumo, si no, se juzga inaceptable y de mala calidad (13).

Las directrices de la OMS para el agua de consumo son probablemente los estándares más importantes relativos a la calidad del agua, las directrices microbiológicas están todavía basadas en *Escherichia coli* o en coliformes termorresistentes como indicadores de contaminación fecal. No se han establecido valores guía para virus,

protozoos o bacterias patógenas específicas debido a la ausencia de métodos analíticos adecuados para el trabajo rutinario. Aunque los valores guía están todos relacionados con la salud, las directrices reconocen que para muchos compuestos los valores guía basados en la salud pueden ser mucho más altos que las concentraciones que afectan a la calidad estética del agua, en particular al sabor y olor (Anexo 3) (7).

Dentro de las leyes y normas que rigen la propiedad del agua y sus limitaciones en Guatemala están:

- **Constitución de la Republica de Guatemala (1985):** en su artículo 127 declara como bienes de dominio público inalienables e imperceptibles todas las aguas y ordena que se emita una ley especial. En el artículo 39 garantiza la propiedad privada (29).
- **El código civil decreto número 1932:** en su artículo 402 dice que son de uso común y dominio nacional las aguas vivas, manantiales, corrientes y saltos de agua (17).

Las disposiciones de conservación del agua en Guatemala se regula en:

- **Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente decreto número 68-86:** en su capítulo II habla sobre el sistema hídrico y en el artículo 15 dice que el gobierno debe velar por el mantenimiento de la cantidad de agua y otras actividades cuyo empleo sean indispensables, por lo que emitirá disposiciones que sean necesarias (17).
- **Acuerdo Gubernativo 236-2005 Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos:** establece criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos (17).
- **Norma COGUANOR NGO 29001:99:** esta norma tiene como objeto fijar los valores de las características que definen el agua potable en Guatemala. Actualmente se conocen los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos mediante los cuales se determina la calidad del agua, a su vez tiene asociados

valores cualitativos y cuantitativos los cuales deben estar comprendidos entre los límites permisibles que el estudio y la experiencia ha encontrado necesario para el consumo humano (30).

En Guatemala estas normas son publicadas por la Comisión Guatemalteca de Normas –COGUANOR-. La Norma COGUANOR NGO 29001 describe los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para agua potable (Anexo 4) (30).

M. Estudios realizados sobre el control de calidad del agua

Se han realizado varios estudios en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre el control de la calidad del agua en distintas regiones del país, pero no existe ningún estudio sobre la calidad microbiológica de agua de pozos domiciliar en el municipio de Chiquimula.

En 1991, Morales realizó el análisis fisicoquímico y bacteriológico de agua de pozo y la evaluación del tratamiento de potabilización a través de cloración en una empresa de producción de alimentos. Se encontró que el agua de pozo posee características físicas y químicas aceptables según las normas de potabilidad, pero presentó contaminación por bacterias coliformes totales y fecales concluyendo que no es apta para consumo humano (31).

En 2001, Gil realizó un estudio de monitoreo y cuantificación de coliformes totales en siete microcuencas del lago de Amatitlán, durante la época seca y lluviosa, encontrando que todas las microcuencas sobrepasan los límites máximos permisibles por la norma COGUANOR para el agua potable (1).

En 2002, Guerra evaluó la calidad microbiológica de diez marcas de agua purificadas envasadas, encontrando que las marcas analizadas de agua envasadas en bolsa no cumplen con la norma COGUANOR por excederse los límites máximos permisibles para agua potable, mientras que las aguas en botella sí cumplieron con los parámetros establecidos por la norma microbiológica (32).

En 2003, Miyares determinó la presencia de coliformes y helmintos en la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú zona 21, encontrando un recuento de huevos de helmintos que sobrepasan los valores proporcionados por la OMS para su reutilización, el conteo de coliformes sobrepasó los valores internacionales para la reutilización del agua (33).

En Julio del 2005, Zanoti realizó el estudio de la calidad física, química y bacteriológica de agua que se suministra a la población del municipio de Palín, estableciendo que los tanques y la red de distribución de grifos cumplen con los parámetros fisicoquímicos según la norma COGUANOR, mientras que el agua que es distribuida a domicilios no cumple con los parámetros bacteriológicos para coliformes totales y fecales (34).

En Noviembre del 2006, Roldán determinó la calidad físico-química y bacteriológica del agua en la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa, encontrando que el agua proveniente de los tres tanques cumplen con los parámetros físicos y que el valor encontrado de cloruros, es el único parámetro químico que no cumple con la norma COGUANOR 29001, se evidenció la presencia de coliformes totales, fecales y *E. coli* (35).

En Septiembre del 2008, Urzúa realizó la determinación de eficacia de la planta de tratamiento de agua residual en Estanzuela, Zacapa, encontrando que los recuentos para coliformes totales, coliformes fecales y *E.coli* sobrepasan los valores de referencia establecidos según el acuerdo gubernativo 236-2005 para aguas residuales (36).

N. Chiquimula

El departamento de Chiquimula está localizado al oriente de la república, con un área aproximada de 2,376 kilómetros cuadrados. Colinda al norte con Zacapa, al éste con la república de Honduras; al sur con la república de El Salvador y el departamento de Jutiapa y al oeste con Jalapa y Zacapa. La población es de 268,379 habitantes aproximadamente, 66,512 pertenecen al área urbana y 201,867 al área rural, de los cuales el 29.54% son indígenas. El idioma mayense predominante es el ch'orti', el cual se habla en los municipios de Jocotán, Camotán y Olopa. El departamento de

Chiquimula se compone de los siguientes municipios: Chiquimula, San José La Arada, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán, Olopa, Esquipulas, Concepción las Minas, Quetzaltepeque, San Jacinto e Ipala (37).

Su territorio es quebrado debido a que el macizo montañoso es irregular, sus alturas varían entre los 1,350 metros sobre el nivel del mar en Olopa, y los 435 en San José La Arada. Su clima aunque es bastante parejo, tiene algunas variantes. En el municipio de Quetzaltepeque sobresale el volcán que lleva el mismo nombre. Sus tierras son fértiles pues irrigan varios ríos de importancia como el Grande o Motagua, el Jocotán, el San José, el Susho y el Copán (38).

El municipio de Chiquimula, limita al norte con el municipio de Zacapa: al sur con los municipios de San José La Arada y San Jacinto; al este con los municipios Jocotán, San Juan Ermita y San Jacinto y al oeste con los municipios de San Diego y Cabañas, Zacapa. Su extensión territorial es de 372 kms. cuadrados. La ciudad cabecera se encuentra a una altura de 423.86 m.s.n.m. Latitud 14° 47' 58", longitud 89°32'37" y su clima es tropical seco. En la actualidad no se cuenta con un listado detallado del número de pozos y el tipo de pozos por suelos que existen en el municipio de Chiquimula, ya que el 70% de los habitantes para poder abastecerse de agua lo hacen por medio de pozos de tipo artesanal. Por lo que es de esperar que no se tenga el registro detallado del aforo, caudal y el abatimiento de los pozos (Anexo 5) (38).

IV. JUSTIFICACIÓN

Las fuentes de agua para el consumo humano se deben proteger de la contaminación por desechos de origen humano y animal, especialmente de materia fecal, la cual contiene bacterias, virus y parásitos intestinales, además de productos químicos que pueden ser nocivos para la salud.

Estos y otros factores contaminantes del agua exponen a las comunidades a sufrir brotes de infecciones intestinales y otras enfermedades. Los niños, las personas inmunosuprimidas o personas que viven en condiciones insalubres son los grupos más susceptibles a adquirir estas infecciones. Es tal la gravedad y las consecuencias de la contaminación microbiana que su control debe ser siempre de primordial importancia.

La demanda de agua para el consumo humano va en aumento por el incremento de la población, hecho que se observa en Guatemala, como en el resto del mundo.

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas.

Debido a que no se han realizado estudios de este tipo en el departamento de Chiquimula, el presente estudio pretende evaluar la calidad del agua existente en 30 pozos de uso doméstico, con base a los parámetros microbiológicos y observar la variación de los resultados en tres meses de muestreos consecutivos durante la época seca. Los parámetros a evaluar son presencia de *Escherichia coli*, estimar el número de coliformes totales, coliformes fecales los cuáles son indicadores de contaminación fecal y que serán utilizados para evaluar el grado de potabilidad del agua y si es apta para consumo humano. La importancia del estudio es dar a conocer la situación actual del agua, en cuanto a calidad bacteriológica, presentando los resultados a las autoridades correspondientes para la toma de decisiones en el manejo del agua en Chiquimula.

V. OBJETIVOS

A. General

Evaluar la calidad bacteriológica de agua de 30 pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula.

B. Específicos

1. Identificar y cuantificar la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* en treinta pozos de agua de uso doméstico.
2. Determinar si existe variación en la concentración de coliformes totales, coliformes fecales y *E.coli* durante tres meses consecutivos en época seca.
3. Proponer recomendaciones de tratamiento de agua de pozos, de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación.

VI. HIPÓTESIS

Debido a que es un estudio descriptivo no se formula.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo de trabajo

Agua de 30 pozos de origen doméstico del casco urbano del departamento de Chiquimula.

1. Muestra

Muestras de agua de los pozos a analizar, del departamento de Chiquimula durante época seca.

B. Recursos

1. Humanos

Investigadora: Jackeline Haydee Hernández Castillo

Asesor: Lic. Martin Gil

Coordinador del Proyecto: Lic. Abner Rodas

2. Institucionales

- Instituto de investigaciones del Centro Universitario de Oriente (CUNORI).
- Departamento de Microbiología Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

C. Materiales

1. Equipo

- Autoclave
- Balanza semianalítica
- Campana de flujo laminar sin UV
- Estufa
- Incubadora
- Refrigeradora

- Lámpara de luz UV

2. Cristalería y materiales varios

- Erlenmeyer de 500 mL
- Espátulas
- Frascos de vidrio
- Gradillas
- Guantes de hule
- Pinzas
- Pipetas automáticas
- Pipetas pasteur
- Pipetas serológicas de 10 mL.
- Probetas 50 y 100 mL
- Tips de 1000 uL
- Tubos pyrex con tapón de rosca de 20 mL

3. Papelería

- Cuaderno
- Bolígrafos
- Marcador permanente
- Masking tape
- Papel aluminio
- Papel manila
- Papel mayordomo

4. Reactivos

- Caldo Fluorocult Modificado Según Manasi y Ossmer (LMX)
- Agar MacConkey
- Cepa ATCC de *E. coli*.

- Reactivo Vogues-Proskaguer
- Reactivo Rojo de Metilo
- Agar Citrato
- Caldo MR VP (Rojo de Metilo-Vogues Proskaguer)
- Reactivo de Kovacs

D. Metodología

1. Toma de Muestra

- Para coleccionar la muestra de agua, utilizar recipientes estériles de vidrio esmerilado con boca ancha de 125 mL de capacidad. El tapón y el cuello del frasco deben estar protegidos con una cubierta de papel Kraft.
- Mantener cerrado el recipiente hasta el momento de tomar la muestra.
- Elegir y localizar el lugar de donde se desea tomar la muestra.
- Abrir el recipiente en donde se desea tomar la muestra y rápidamente introducir el agua, moviendo horizontalmente.
- Al terminar cerrar el recipiente rápidamente y rotular con la fuente, fecha, lugar, hora de toma de muestra y responsable se la toma de muestra.
- Colocar las muestras en una hielera y enviarla de inmediato al laboratorio (28).

2. Análisis bacteriológico

El método a utilizar es el de Tubos Múltiples del Número Más Probable (NMP) considerado como estándar para la determinación del grupo coliforme, utilizando caldo LMX, para determinación del grupo coliforme.

El examen bacteriológico que se realizó a las muestras de agua consistió en estimar la densidad de contaminación bacteriana del grupo coliforme fecal y total por el método de tubos de fermentación múltiples, el cual se expresa por el número más probable en 100 mm³ NMP/100mL, considerando como potable y apta para consumo humano un valor menor de 3 NMP/100mL.

Para confirmar la presencia de *E.coli* se realizaron pruebas bioquímicas IMVIC, positivo para Indol y Rojo de Metilo y negativo para Citrato y Voges Proskauer.

E. Diseño de investigación

1. Tipo de estudio

Estudio descriptivo.

2. Tipo de Muestra

Se recolectaron por conveniencia y sin cálculo de muestra un total de 90 muestras de agua en 30 pozos domésticos, correspondiendo a un muestreo por pozo una vez al mes durante tres meses consecutivos para análisis bacteriológico (Anexo 6).

3. Variables

Dependiente: número de coliformes totales, número de coliformes fecales, presencia o ausencia de *Escherichia coli*

Independiente: Agua de pozo doméstico

Factores adicionales: época seca.

4. Análisis de resultados

- a. Número de coliformes totales y fecales (NMP/100ml): el análisis estadístico se realizó por medio de estadística descriptiva usando la mediana, rango y frecuencia absoluta del número de coliformes totales y fecales que cumplen y no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001 en 30 pozos.

- b. Para *Escherichia coli*: se reportó por medio de frecuencia absoluta de positivos y negativos en forma individual por mes y se graficaron por medio de barras desplegadas.

VIII. RESULTADOS

De los análisis de las muestras obtenidas en diferentes puntos de muestreo durante la época seca en el casco urbano del departamento de Chiquimula, se obtuvieron los siguientes resultados.

En las tablas No. 1 a la 5 se presentan los resultados obtenidos durante la época seca en pozos de viviendas seleccionadas en 7 zonas que conforman el casco urbano.

En los resultados de coliformes totales y fecales de 30 pozos de origen domiciliario ubicados en el casco urbano del departamento de Chiquimula, se encontró variación de un mes a otro en algunos pozos, algunos parámetros sobrepasaron los límites mínimos permisibles, según la norma COGUANOR NGO 29001 para agua potable mientras que otros sí cumplieron con los límites los cuales corresponden a menor de 3 NMP/100 mL.

Como se observa en la tabla No. 1 de los 30 pozos analizados el (87%) presentaron valores arriba del valor permitido de acuerdo a la norma COGUANOR para coliformes totales y el (13%) presentaron valores permisibles durante los tres meses de muestreo.

Como se observa en la tabla No. 2 de los 30 pozos analizados el (77%) presentaron valores arriba del valor permitido de acuerdo a la norma COGUANOR para coliformes fecales y (23%) presentaron valores permisibles durante los tres meses de muestreo.

Tabla No. 1. Resultados obtenidos del análisis bacteriológico para coliformes totales de treinta pozos domiciliarios del casco urbano del departamento de Chiquimula, durante la época seca.

Número de Pozo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
1	240	240	150
2	< 3	<3	<3
3	1100	460	460
4	1100	23	23
5	150	93	150
6	4	4	43
7	>2400	1100	1100
8	>2400	>2400	>2400
9	>2400	460	1100
10	>2400	9	9
11	15	460	150
12	460	<3	<3
13	93	15	15
14	93	460	240
15	210	>2400	1100
16	9	4	<3
17	15	<3	<3
18	4	4	4
19	93	23	39
20	7	<3	43
21	2400	<3	<3
22	2400	1100	1100
23	1100	460	39
24	2400	2400	2400
25	43	7	4
26	1100	240	15
27	<3	<3	<3
28	<3	<3	<3
29	<3	<3	<3
30	93	93	<3

Recuento de coliformes totales en NMP/100 ml.

NMP: Número más probable.

Valor mínimo permisible: < 3 NMP/100ml.

Fuente: Datos experimentales.

Tabla No. 2. Resultados obtenidos del análisis bacteriológico para coliformes fecales de treinta pozos domiciliarios del casco urbano del departamento de Chiquimula, durante la época seca.

Número de Pozo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
1	240	<3	4
2	<3	<3	<3
3	15	4	4
4	<3	<3	<3
5	4	<3	<3
6	<3	<3	9
7	93	1100	460
8	23	210	210
9	1100	<3	15
10	460	7	7
11	15	<3	<3
12	43	<3	<3
13	<3	4	4
14	<3	<3	<3
15	460	93	93
16	9	<3	<3
17	9	<3	<3
18	<3	<3	<3
19	93	<3	<3
20	4	<3	4
21	23	<3	<3
22	4	460	460
23	<3	<3	<3
24	460	460	460
25	9	<3	<3
26	4	43	9
27	4	<3	<3
28	<3	<3	<3
29	<3	<3	<3
30	4	9	4

Recuento de coliformes totales en NMP/100 ml.

NMP: Número más probable.

Valor mínimo permisible: < 3 NMP/100ml.

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla No. 3 se observa la frecuencia de las muestras analizadas provenientes de agua de pozo domiciliar, cumpliendo 4 pozos para coliformes totales y 7 pozos para coliformes fecales. La frecuencia para los pozos que no cumplieron los parámetros microbiológicos fueron 26 para coliformes totales y 23 pozos para coliformes fecales según la norma COGUANOR NGO 29001.

Tabla No. 3. Frecuencia de las 30 muestras de agua de pozo analizadas durante 3 meses de muestreo que cumplen y no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001.

Indicadores	Cumplimiento con los parámetros microbiológicos	Frecuencia <i>n=30</i>	Porcentaje <i>100%</i>
Coliformes totales	Si	4	13
	No	26	87
Totales		30	100
Coliformes fecales	Si	7	23
	No	23	77
Totales		30	100

Fuente: Datos experimentales

En la tabla No. 4 se muestra el análisis estadístico descriptivo de mediana y rango de los parámetros microbiológicos evaluados a 30 pozos de origen domiciliar durante tres muestreos. Donde se puede apreciar que en el primer muestreo se obtuvo una mediana para coliformes totales de 122 en el segundo muestreo 23 y tercer muestreo de 31, para coliformes fecales una mediana en el primer muestreo de 7, segundo muestreo 3 y tercer muestreo de 3.

Tabla No. 4. Parámetros microbiológicos evaluados en tres muestreos de agua domiciliar del casco urbano del departamento de Chiquimula.

Parámetros	Coliformes totales			Coliformes fecales		
	NMP/100 ml			NMP/100 ml		
Época seca	Med	Min	Max	Med	Min	Max
Muestreo 1	122	<3	2400	7	<3	2400
Muestreo 2	23	<3	2400	3	<3	2400
Muestreo 3	31	<3	2400	3	<3	2400

NMP/100 ml: número más probable en 100 mililitros
 Med: Mediana Max: valor máximo Min: valor mínimo
 Fuente: Datos experimentales

En la tabla No. 5 y grafica No. 2 se muestra la frecuencia absoluta de *Escherichia coli* evaluada durante los tres meses de muestreo de agua de pozo del casco urbano del departamento de Chiquimula, en época seca.

Tabla No. 5. Frecuencia absoluta de *Escherichia coli* evaluada durante 3 meses de muestreo de agua de pozo del casco urbano del departamento de Chiquimula, en época seca.

No. de muestreo	<i>Escherichia coli</i>		
	Frecuencia de Positivos	Frecuencia de Negativos	Total
1	21	9	30
2	10	20	30
3	14	16	30

Fuente: Datos experimentales.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El casco urbano del departamento de Chiquimula se encuentra catalogado como una ciudad de segundo orden, teniendo la tendencia hacia el aumento en el número de habitantes y consigo el aumento en las actividades desarrolladas, aumentando así el volumen de desechos sólidos y líquidos hacia los cuerpos de aguas superficiales (38).

En el presente proyecto de investigación fueron evaluados los parámetros para la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula, análisis que se realizó durante la época seca del año. Se colectaron un total de 90 muestras de agua procedentes de 30 pozos de agua de origen doméstico los cuales fueron seleccionados por conveniencia encontrándose situados en las 7 zonas que conforman el casco urbano.

En las tablas No. 1 y 2 se presentan los resultados de los parámetros de coliformes totales y coliformes fecales durante los tres meses de muestreo, algunos pozos presentaron cambios de concentración de NMP/100 ml de un mes a otro, mientras que otros se mantuvieron con la misma concentración, también se puede observar que las concentraciones de coliformes totales fueron mayores a las de coliformes fecales. Se pudo observar que en algunos pozos las concentraciones de coliformes fueron de mayor a menor y en otros permaneció constante debido a varios factores que se mencionan más adelante.

En la tabla No. 3 se observa la frecuencia de pozos en los que no se detectó la presencia de coliformes totales (13%) y de coliformes fecales (23%) que basándose en los límites establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001 para aguas de consumo humano que son menor o igual a 3 NMP/100 ml de agua. Se comprobó que estas muestras correspondieron a pozos bien construidos (perforación profunda), y según la encuesta realizada a las personas de las viviendas, estas tienen sistemas de cloración del agua, así como también se les da mantenimiento de limpieza periódica a dichos pozos y por lo que se observó no existían pozos ciegos o corrales de animales en la proximidades (5).

Los resultados obtenidos de los demás pozos presentaron conteos en un rango de 4 hasta mayor de 2400 NMP/100 ml, detectando la presencia de coliformes totales (87%) y coliformes fecales (77%). Estas muestras, especialmente las que presentaron una elevada cantidad de coliformes, sugieren contaminación del manto freático con materia orgánica de origen fecal ya que las personas no realizan ningún mantenimiento y desinfección que potabilice el agua. Otro de los factores de riesgo en estos pozos fue que se encuentran situados en las cercanías de cuerpos acuíferos por donde pasan los ríos Taco, San José, Sasmo y Shusho, los cuales transportan descargas de aguas residuales domésticas.

En la colonia Shusho pasa una parte del río del mismo nombre el cual es utilizado como drenaje, por lo tanto tiene cierta influencia en la contaminación del agua de los pozos de viviendas cercanas a dicho río.

El río Sasmo es variable, en base a observaciones de campo, este río permaneció con un caudal bajo y seco durante el transcurso del verano. Por tal motivo, se considera que el sector de las zonas 2, 3 y 7 no presentó valores relativamente elevados de contaminación como los obtenidos en las zonas 1, 4, 5, 6 ya que en estas zonas pasa el río Taco, el cual es utilizado como drenaje de la ciudad, haciendo constante la presencia de contaminantes (Anexo 6).

Los resultados obtenidos en la tabla No. 3 muestran la frecuencia absoluta de pozos que fueron negativos a coliformes totales y fecales según la norma COGUANOR durante los tres meses de muestreo y la frecuencia de los pozos que presentaron variaciones en la concentración de coliformes un mes a otro manteniéndose en algunos meses con presencia de coliformes y en otros con ausencia, tal y como pudo observarse en las tablas No. 1 y 2, la variación de estos resultados de un mes a otro pueden atribuirse ya que algunas personas pusieron en práctica el lavado y desinfección del pozo según la información obtenida de personas en casas donde se muestreó por segunda y tercera vez.

Los resultados obtenidos en la tabla No. 4 indican los valores de la mediana y el valor mínimo el cual fue menor de 3 y el valor máximo encontrado en cada muestreo fue mayor de 2400 NMP/100 ml, por lo que se pudo observar que en los pozos muestreados existen algunos los cuales no presentan ninguna contaminación de coliformes ya que la

perforación del pozo fue bien hecha y las casas no se encuentran cerca de pozos sépticos, corrales de animales ni ríos, mientras los valores máximos fueron obtenidos de los pozos cercanos a ríos en los cuales desembocan aguas residuales.

Los resultados de la tabla No. 5 (Anexo 7) indican la frecuencia de *Escherichia coli* medidas como presencia (positivos) y ausencia (negativos), los cuales fueron expresados durante el primer muestreo con 21 (70%) positivos y 9 (30%) negativos, en el segundo muestreo 10 (33%) positivos y 20 (67%) negativos y durante el tercer muestreo 14 (47%) positivos y 16 (53%) negativos; pudiéndose concluir que sí existe variación en la presencia de este microorganismo de un mes a otro, tal como se mencionó anteriormente algunas personas llevan a cabo la desinfección y limpieza de sus pozos con cierta periodicidad, otro factor que pudo haber influido fue el caudal de ciertos ríos cercanos a los pozos ya que hubo variabilidad durante el período de muestreo.

Los suelos o aguas que reciben ingresos de afluentes cloacales o materia fecal vacuno, muestran una elución directa entre coliformes totales y coliformes fecales. Las causas de esta contaminación pueden ser atribuidas a diversos factores. La presencia de pozos ciegos o cámaras sépticas en las cercanías de donde se realizó la toma de muestras posiblemente creó condiciones para que la población de coliformes fuera superior a 3 NMP por cada 100 mL de agua, cabe resaltar que en el departamento de Chiquimula no existían drenajes y la mayor parte de pobladores construía fosas sépticas cerca de los pozos (13).

Es importante aclarar que según los criterios bromatológicos, la sola presencia de estos microorganismos en el agua es un indicador cualitativo de contaminación, por lo que aún las aguas con niveles bajos de coliformes son consideradas contaminadas. Sin embargo, cuando aumenta la presencia de coliformes en el agua, aumenta también la probabilidad de que ésta contenga algún otro microorganismo patógeno (17).

La importancia de este estudio radica en que Guatemala generalmente se está produciendo un proceso de degradación de las zonas de recarga hídrica, las cuales abastecen a las cuencas y ríos, que a su vez son las que alimentan el manto freático, además de un proceso continuo de contaminación debido a la falta de un tratamiento adecuado de desechos sólidos. Por otra parte, la continuación de la medición de los parámetros

bacteriológicos en meses consecutivos, permite un mejor conocimiento del comportamiento de la calidad del agua con respecto a la estación y si este es repetitivo, constituye una información valiosa para la toma de medidas de prevención y una mejora en la planificación del manejo integral de las cuencas y ríos del área.

X. CONCLUSIONES

1. Los análisis bacteriológicos realizados en agua de pozos domiciliarios de la población del casco urbano del departamento de Chiquimula, demuestran la presencia de coliformes totales, fecales por encima de los límites máximos permisibles establecidos por lo tanto no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001 de agua para consumo humano.
2. El 13% de las muestras evaluadas cumplen con los parámetros microbiológicos para coliformes totales y un 23% de las muestras para coliformes fecales, durante los tres meses de muestreo.
3. El uso de sanitización y el aumento del caudal de ciertos ríos cercanos a los pozos fueron dos de los patrones que marcaron el comportamiento de contaminación por *Escherichia coli* durante el primer muestreo el cual fue mayor al segundo y tercer muestreo de cada pozo.
4. Los pozos para consumo humano cercanos a ríos tienden a estar más contaminados con bacterias del tipo coliformes que los pozos lejanos.
5. Como este estudio se refiere a pozos usados para el consumo humano el mismo no puede considerarse representativo del nivel de contaminación de las napas subterráneas.
6. La contaminación de un pozo no refleja necesariamente la contaminación de un acuífero, ya que los pozos pueden contaminarse fácilmente por aporte local si tienen algún defecto de construcción.

XI. RECOMENDACIONES

1. Debido a que los análisis microbiológicos realizados al agua de pozos situados en el casco urbano del departamento de Chiquimula, durante la época seca del año, demostraron que no es microbiológicamente apta para consumo humano, se recomienda implementar un sistema de desinfección y descontaminación a cada pozo, para no poner en riesgo la salud de los habitantes que hacen uso de dichos pozos.
2. La cloración del agua es importante a una concentración adecuada de acuerdo a las normas establecidas en Guatemala para agua potable.
3. Establecer un programa de divulgación sobre desinfección y tratamiento del agua de pozos por parte de la municipalidad de Chiquimula y el centro de salud para evitar enfermedades gastrointestinales en la población más susceptible.
4. Implementar un sistema de drenajes acoplados a una planta de tratamiento de aguas residuales, para evitar el vertido de aguas servidas hacia ríos y el manto freático.
5. La fuente de contaminación parece ser localizada, asociada a la presencia de cámaras sépticas, lugares de acumulación de residuos o de concentración animal, por lo tanto se recomienda que la construcción de pozos nuevos para consumo humano sean ubicados lejos de focos de contaminación, así como impedir la concentración de animales en las cercanías.
6. Se recomienda realizar un estudio microbiológico en el agua de tanques municipales que distribuyen el servicio de agua a la población de Chiquimula.
7. Introducir agua potable para consumo humano.

XII. REFERENCIAS

1. Gil I. Monitoreo de Coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia coli* en siete Microcuencas del Lago de Amatitlán: Chanquín, El Frutal, Guadrón, Pinula, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palín. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad Ciencias Químicas y Farmacia) 2001. 62p.
2. Quiroz J. Análisis Económico de la contaminación de aguas en América Latina. Chile: Centro Internacional para el Desarrollo Económico (CIDEN), 1995. 446p. (p.381-426).
3. Informe del MSPAS. Memoria de estadísticas y vitales y vigilancia epidemiológica. República de Guatemala: 2007.
4. Figueroa M. La comunicación sobre medio ambiente en Prensa Libre, dos problemas específicos, basura y agua (agosto-noviembre 2003). Universidad Rafael Landívar de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Humanidades) 2004. 118p.
5. Sánchez A. Proceso de análisis de aguas subterráneas del municipio de Mixco, Guatemala, para el Abastecimiento de Agua Potable. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2005. 47p.
6. Cerrano L. Determinación de calidad de agua para consumo humano en el municipio de Villa Nueva, Departamento de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2002. 52p.
7. Gray N. Calidad del agua potable problemas y soluciones. 1. ed. España: Acribia S.A, 1994. 365p.
8. Manual de Saneamiento de agua, vivienda y desechos. 2 ed. México: Limusa, 1986.
9. Penagos J. Implementación de un plan de análisis de riesgos y puntos críticos de control en la industria de agua purificada. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias y Humanidades) 2003. 104p.

10. Echarri L. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. 2. Ed. Barcelona: Teide, S.A, 1998. 430p
11. Powell S. Manual de aguas para usos industriales. 3. ed. México: Limusa, 1990. 457p.
12. González A, Figueroa B. Evaluación de tecnologías alternativas tanto para el tratamiento y desinfección del agua de consumo como para el tratamiento de excretas y aguas residuales en pequeñas localidades de la frontera norte. México: Instituto Mexicano de Tecnología del agua, (informe final para fundación México) 1999. 115 p.
13. OMS. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 ed. Vol. 1, 1995. 200 p.
14. Ordoñez M. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua en el Municipio de Palín para consumo humano y su uso en los procesos de la industria de esta área. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1992. 125p.
15. Tebbutt T. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. 2. ed. México, DF: Limusa, 1999. 239 p.
16. Castillo G. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. IDRC/IMTA 2004. 202 p.
17. García M. Evaluación de la calidad del agua del Río Pinula. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas) 2008. 69 p.
18. Skoog D. Química Analítica. 3 ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2001. 795p
19. Bordner R. Microbiological Methods for Monitoring the Environment Water and Wastes. United States. 1987. 337p.
20. Cano F. Técnicas de Análisis Microbiológico de Alimentos y Agua. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Doc. Tec. No. 102, 1995. 40 p.

21. Borrego J. Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms. *Water. Research.* 1987. 21, 1473-1480 p.
22. Bolows A. *Manual of Clinical Microbiology.* 5. ed. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1991.
23. Contreras G. Efecto Bactericida de Catabolitos de *Pseudomonas aeruginosa* sobre Coliformes fecales en Agua de Consumo. Lima. IV Congreso Latinoamericano de Higiene y Microbiología de Alimentos. 1996.
24. Soto E. Algunos Aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. *Revista Politécnica de información técnica científica.* Vol. 1, 1998. 135-43p.
25. Allen M. La Importancia para la Salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del Agua Potable. CEPIS. OPS. OMS. Lima, Perú. 1996.
26. Estrada W. Relación entre la presencia de colifagos y *Escherichia coli* en diferentes fuentes de agua de la ciudad capital y análisis por asociación de la contaminación viral de las mismas. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001. 63p.
27. Cano F. Técnicas Básicas para el Examen Bacteriológico de Agua para Consumo humano Guatemala: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), Doc. Técnico. 1997, 80p
28. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 19 ed. Washington DC. American Public Health Association. 1995.
29. Asamblea Nacional Constituyente. *Constitución Política de la República de Guatemala.* Editorial Piedra Santa. Guatemala. 1985.
30. Departamento de Regulación de los Programas de Salud y Ambiente (COGUANOR). Guatemala: 2003. 20p.
31. Morales G. Análisis Químico y Bacteriológico de agua de pozo y evaluación del tratamiento de potabilización a través de cloración en una empresa de productos alimenticios. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1991. 58p.

32. Guerra H. Evaluación de la calidad microbiológica de diez marcas de agua purificada envasada, existentes en el mercado guatemalteco. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2002. 55p.
33. Miyares M. Determinación de coliformes y helmintos en agua de afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú 1, zona 21. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 76p.
34. Zanoti P. Determinación de la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano que se suministra a la población del municipio de Palín Escuintla. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2005. 76p.
35. Roldán A. Determinación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2006. 47p.
36. Urzúa F. Determinación de la eficacia de la planta de tratamiento de agua residual de Estanzuela, Zacapa. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2008. 58p.
37. Ficha Técnica: Situación Económica Política y Social de las Mujeres, Departamento de Chiquimula. Disponible en: <http://www.seprem.gob.gt>
38. Disposición Demográfica del Departamento de Chiquimula. Disponible en: <http://www.Chiquimulaonline.com/datosdechiquimula.htm>. Fecha de consulta 3 de Abril del 2009.

XIII. ANEXOS

A. ANEXO 1

Tabla No. 1. Enfermedades transmitidas por consumo de agua contaminada.

Bacterias	Enfermedad	Síntomas
<i>Aeromonas</i>	Enteritis	Diarrea muy líquida con sangre y moco
<i>Campylobacter jejuni</i>	Campilobacteriosis	Diarrea acuosa, dolor de cabeza y estomago, fiebre, calambres y nauseas.
<i>Escherichia coli</i>	Síndrome diarreico	Diarrea acuosa, fiebre y vómitos
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Plesiomonas-infección	Nauseas, dolores de cabeza y estómago, fiebre, vómitos y diarrea acuosa.
<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi</i>	Tifoidea y Paratifoidea	Dolor abdominal, diarrea, escalofríos, estreñimiento, postración, nausea y fiebre.
<i>Shigella dysenteriae</i>	Disentería bacilar	Diarrea muco-sanguinolenta, fiebre, vómito y dolor abdominal
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarrea abundante y acuosa. Vómito, deshidratación rápida.

Fuente: Soto. E. Algunos Aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. Revista Politécnica de información técnica científica. Vol. 1, 1998. 165p.

B. ANEXO 2

Tabla No. 2. Tratamiento proporcionado según el tipo de agua.

Tipo de fuente	Tratamiento
Agua subterránea	
<ul style="list-style-type: none">• Agua de pozos profundos protegidos: esencialmente, libres de materia fecal	Desinfección
<ul style="list-style-type: none">• Pozos superficiales no protegidos, contaminación fecal	Filtración y desinfección

Fuente: Ordoñez M. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua en el Municipio de Palín para consumo humano y su uso en los procesos de la industria de esta área. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1992. 125p.

C. ANEXO 3

Tabla No. 3. Valores guía revisados del agua potable de la Organización Mundial de la Salud para la calidad bacteriológica del agua potable.

Organismos	Directriz
Todas las aguas destinadas para consumo <i>E. coli</i> o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada entrando en el sistema de distribución <i>E.coli</i> o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL
Bacterias coliformes totales	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL
Agua tratada en el sistema de distribución <i>E.coli</i> o bacterias coliformes termorresistentes	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL
Bacterias coliformes totales	No deben ser detectables en ninguna muestra de 100 mL. En el caso de grandes suministros donde se examinan suficientes muestras, no deben estar presentes en el 95% de la muestras tomadas durante cualquier periodo de 12 meses

Fuente: OMS. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 ed. Vol. 1, 1995. 200 p.

D. ANEXO 4

NORMA COGUANOR NGO 29 001

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, fecales en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes:

Método de tubos múltiples de fermentación

Tabla No.4. Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10 mL, 1 mL y 0.1 mL.

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 mL cada uno	3 de 1 mL cada uno	3 de 0.1 mL cada uno	NMP
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	2	0	-
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	-
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	≥2400

Fuente: Norma Guatemalteca obligatoria agua potable. COGUANOR NGO 29 001.98 Publicado el 4 de Agosto 2000. Guatemala.

Tabla No. 5. Características físicas. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable.

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)

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

(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.

Fuente: Norma Guatemalteca obligatoria agua potable. COGUANOR NGO 29 001.98 Publicado el 4 de Agosto 2000. Guatemala.

Tabla No. 6. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles para agua potable.

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1500 μ S/cm
Dureza total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrogeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0 °C-25.0 °C	34.0 °C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

(1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0 con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.

(2) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.

(3) En unidades de pH

Fuente: Norma Guatemalteca obligatoria agua potable. COGUANOR NGO 29 001.98 Publicado el 4 de Agosto 2000. Guatemala.

E. ANEXO 5

Mapa Ciudad de Chiquimula

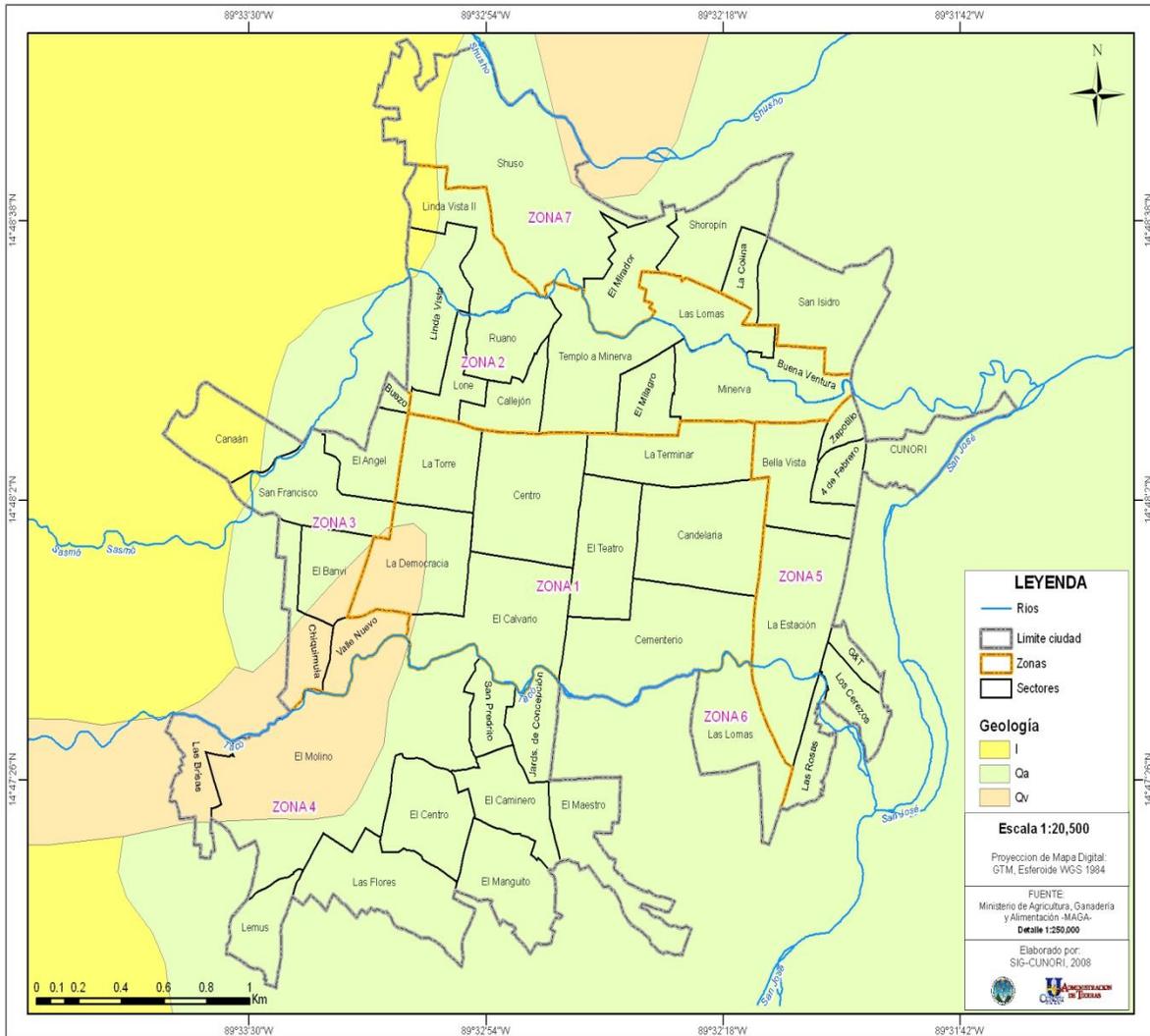


Figura No.1 Mapa de la ciudad de Chiquimula en base a diferentes tipos de, señalados los límites de la ciudad, colonias y los ríos principales del municipio.

Suelo I: rocas ígneas metamórficas del periodo terciario, rocas plutónicas, incluye granitos, dioritas de edad precámbrico y terciario.

Suelo QA: rocas sedimentarias de aluviones cuaternarios, aluviones formados por la sedimentación de la erosión de las montañas de las partes altas.

Suelo QV: rocas ígneas y metamórficas. Originarias de coladas de lava, material laharico, tobas y edificios volcánicos del periodo cuaternario.

Fuente: SIG-CUNORI 2008

F. ANEXO 6

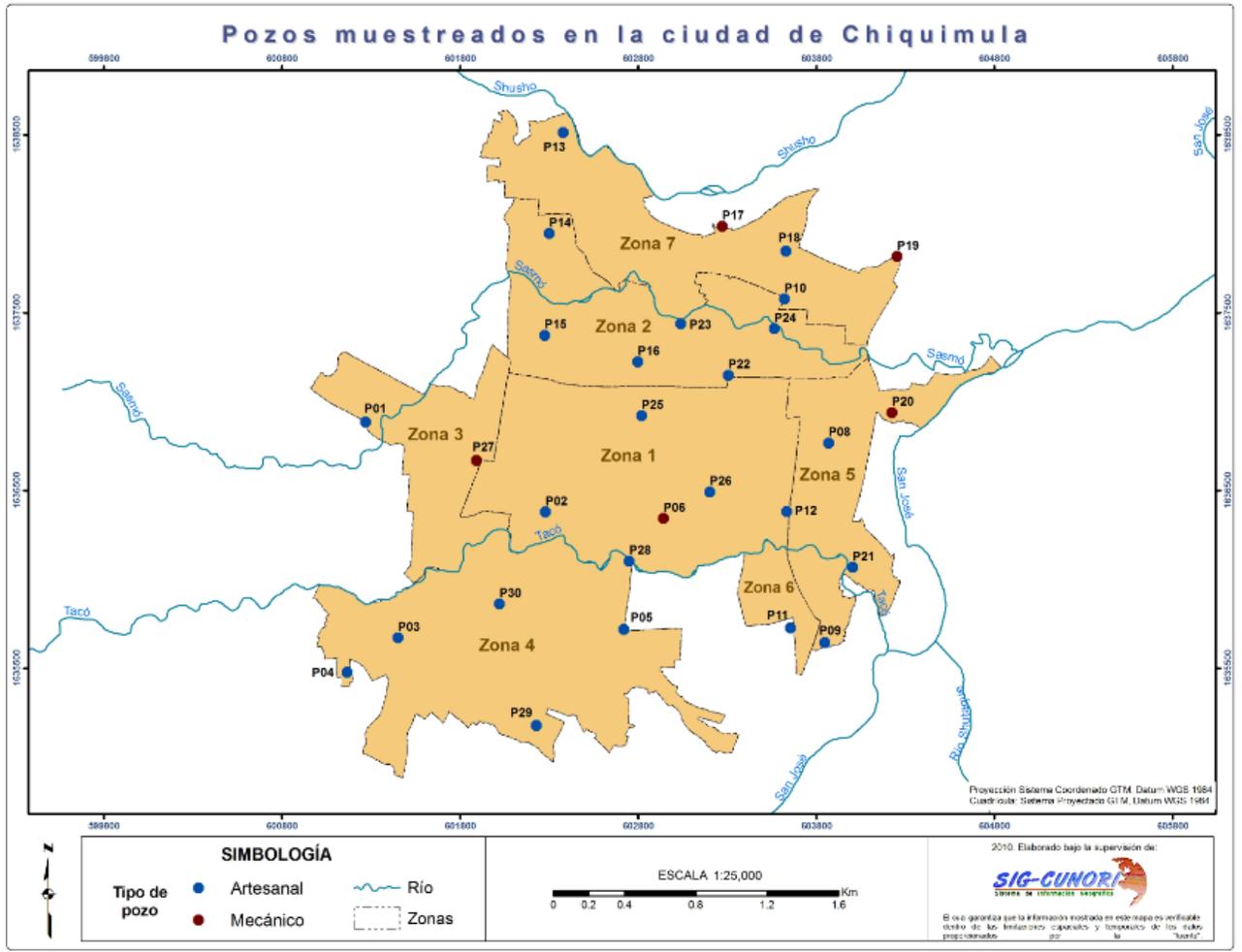


Figura No. 2 Mapa de la ciudad de Chiquimula, señalando ubicación de los pozos y los ríos principales.

Fuente: SIG-CUNORI 2010

G. ANEXO 7

Grafica No. 2. Frecuencia absoluta de *Escherichia coli* evaluada durante tres meses de muestreo de agua de pozo del casco urbano del departamento de Chiquimula

