

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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO
HUMANO QUE SUMINISTRA LA MUNICIPALIDAD DE SAN
AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, DEPARTAMENTO DE EL
PROGRESO**

**JENNIPHER AYMÉ PENSAMIENTO VARGAS
QUÍMICA BIÓLOGA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2011

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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
QUE SUMINISTRA LA MUNICIPALIDAD DE SAN AGUSTÍN
ACASAGUASTLÁN, DEPARTAMENTO DE EL PROGRESO**

INFORME DE TESIS

PRESENTADO POR

JENNIPHER AYMÉ PENSAMIENTO VARGAS

Para Optar al Título de

QUÍMICA BIÓLOGA

GUATEMALA, MARZO DE 2011

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.	Secretario
Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.	Vocal I
Licda. Liliana Vides de Urízar	Vocal II
Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli	Vocal III
Br. José Roy Morales Coronado	Vocal IV
Br. Cecilia Liska De León	Vocal V

AGRADECIMIENTO

Al claustro de la Facultad de Farmacia: por haber contribuido con mi formación académica y profesional.

Al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos –LAFYM- : por haber permitido la realización de la parte experimental de la investigación.

A la Licda. Ana Rodas de García: por su asesoría profesional y apoyo brindado.

A la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso: por el apoyo para la realización del muestreo como parte experimental de la investigación.

A Alvarito, Guillerma, Shadya, Sellenne y Daniel: por la ayuda brindada en la realización de esta tesis.

A Paquito mi esposo: por su amor, sabiduría y sobre todo por la paciencia que me tuvo en la realización de esta tesis. Lo amo amor!!!

INDICE

I.	Resumen.....	6
II.	Introducción.....	8
III.	Antecedentes	
A.	San Agustín Acasaguastlán	10
B.	Generalidades del agua	11
1.	Ciclo hidrológico	11
2.	Usos del agua	12
3.	Impurezas del agua	13
4.	Agua para consumo humano	14
5.	Aspectos microbiológicos del agua para consumo humano.....	14
6.	Aspectos fisicoquímicos del agua	18
C.	Tratamiento y desinfección del agua	22
D.	Norma COGUANOR NGO 29001	27
E.	Estudios realizados	28
IV.	Justificación	30
V.	Objetivos	31
VI.	Hipótesis	32
VII.	Materiales y Métodos	33
VIII.	Resultados	42
IX.	Discusión de Resultados	49
X.	Conclusiones	52
XI.	Recomendaciones	53
XII.	Referencias	54
XIII.	Anexos	58

I. RESUMEN

En Guatemala existe una tendencia al deterioro de los cuerpos de agua por la contaminación generada por aguas residuales de origen doméstico, agrícola y agroindustrial provocando efectos negativos en la calidad del agua para consumo humano repercutiendo en la salud de poblaciones como San Agustín Acasaguastlán.

El presente estudio tuvo como principal objetivo determinar la calidad de agua para consumo humano que la municipalidad provee al casco urbano del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, a través de análisis microbiológicos y fisicoquímicos en conformidad con la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

Se seleccionaron 90 muestras al azar de forma estratificada provenientes del nacimiento, el tanque de captación y la red de distribución conformada por 7 barrios (San Sebastián, El Centro, Tamarindo, San Juan, Río Hato, Aguahiel y Guaytán) en la cabecera del municipio. Las muestras fueron trasladadas y analizadas en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos –LAFYM- de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los resultados se compararon con los parámetros fisicoquímicos (color, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, dureza total, hierro, nitritos, nitratos, calcio, magnesio, manganeso, cromo y cloro residual) y microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*) incluidos en la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

En el análisis microbiológico el 100% de las muestras analizadas tienen la presencia de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli*, cantidades por arriba de los límites máximos permisibles que la norma exige. En el análisis fisicoquímico el 100% de las muestras analizadas se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la norma en los parámetros color, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, dureza total, hierro, nitritos, nitratos, calcio, magnesio y manganeso. El 52% de las muestras se encuentran por encima de los límites máximos permisibles que exige la norma para el parámetro fisicoquímico cromo y el 97% de las muestras no contienen cloro.

Con los resultados se concluye que el agua suministrada por la municipalidad a la población de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso no es apta para consumo humano, ya que no cumple con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permitidos por la norma COGUANOR NGO 2900. Agua Potable, Especificaciones, por lo que es necesario la implementación de un sistema de desinfección y cloración, así como también, un programa de control y monitoreo periódico incluyendo un plan de limpieza adecuado del tanque de distribución.

II. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos renovables para la vida humana, animal y vegetal, tiene un papel importante para el desarrollo sostenible, el crecimiento económico, estabilidad política, social y sobre todo en la salud y erradicación de la pobreza de una población (1).

Guatemala afronta una gran crisis en cuanto al manejo y preservación del agua como recurso; actualmente como en el resto del planeta, con el deterioro climático se dan sequías e inundaciones en distintas áreas de nuestro territorio. Las limitaciones de acceso a este valioso recurso, las preocupaciones en cuanto a la calidad de agua, la planificación bajo incertidumbre y variabilidad climática y la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de uso sustentable del agua, son algunos de los aspectos preocupantes para los usuarios de los recursos hídricos. En la última década, para el manejo de éstos se ha recomendado un enfoque integrado considerando el manejo desde la demanda, la calidad de agua, la conservación y protección de ecosistemas (2).

El municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, es una población que cuenta con 37,589 habitantes siendo la municipalidad la encargada del abastecimiento de agua para el consumo de la población. Dicha agua proviene de un nacimiento ubicado alrededor de la sub-cuenca del río Hato en la aldea Puerta de Golpe, la cual es entubada y recolectada en un tanque y luego es distribuida. No existen datos epidemiológicos sobre enfermedades transmitidas por agua en los pobladores de esta comunidad; sin embargo en el año 2008, el centro de salud de la población reportó 1,930 casos de parasitismo intestinal siendo el agua posiblemente uno de los factores de mayor riesgo de contraer infecciones gastrointestinales (3).

El presente trabajo tuvo como principal objetivo determinar la calidad del agua para consumo humano que distribuye la municipalidad al área urbana del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso en el que se analizaron muestras de agua provenientes del nacimiento, el tanque de distribución y la red domiciliar para evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de dichas fuentes.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron evaluados según la norma COGUANOR NGO 29 001. Agua Potable, Especificaciones y de esta manera se recomendaron acciones correctivas para que se cumpla con dicha norma.

III. ANTECEDENTES

A. San Agustín Acasaguastlán

El municipio de San Agustín Acasaguastlán pertenece al departamento de El Progreso y está localizado al oriente de la ciudad capital, rodeado por San Cristóbal Acasaguastlán, El Jícaro, Guastatoya y Morazán. Tiene una extensión territorial de 358 km² y una altitud sobre el nivel del mar de 290 metros. El municipio cuenta con una población de 37589 habitantes hasta el 2008 y su clima es cálido. Tiene 6 ríos de los cuales el principal es la sub-cuenca del río Hato (3, 4).

La cabecera municipal se divide en 7 barrios los cuales son: El Centro, San Sebastián, San Juan, Agua Hiel, Tamarindo, Guaytán y Río Hato. Tiene aproximadamente un total de 1,800 viviendas de las cuales 1,748 cuentan con agua intradomiciliar, 1,796 viviendas poseen letrinas y/o inodoros y 1,500 con alcantarillado. La municipalidad de la localidad suministra a aproximadamente 1,001 usuario agua para consumo humano por medio de la red de abastecimiento, esta red está formada por un nacimiento circulado y tapado de donde se obtiene el agua, dicho nacimiento se encuentra dentro de la sub-cuenca del río Hato en la aldea Puerta de Golpe, el tanque de distribución y la red domiciliar. La municipalidad actualmente recolecta el agua del nacimiento por medio de una tubería y ésta al llegar al tanque de distribución es desinfectada con hipoclorito de sodio y luego es distribuida a la población (3, 4).

1. Información epidemiológica

El sistema de salud se encuentra clasificado de la siguiente manera: un Centro de Salud tipo B y una clínica parroquial, ubicados en la cabecera municipal, 7 puestos de salud distribuidos en las aldeas que conforman el municipio, 10 centros de convergencia y 5 clínicas privadas (5).

En el 2008 el Centro de Salud reportó 1,930 casos de parasitismo intestinal siendo el consumo de agua uno de los factores de mayor riesgo en estas enfermedades; sin embargo, no se han realizado ningún análisis microbiológico y fisicoquímico del agua para investigar la calidad (5).

B. Generalidades del agua

El agua es una combinación de hidrógeno y oxígeno (H_2O) es un líquido insípido, incoloro e inodoro, que en su composición pura es difícil de obtener debido a que casi cualquier sustancia es soluble en ella. Es una mezcla de diferentes moléculas debido a la existencia de los diferentes isótopos del hidrógeno y oxígeno, esta complicación, unida a su polaridad hace que todas sus constantes físicas sean anormales (6, 7).

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 y ejerce una gran influencia en el desarrollo del ser humano. El agua cubre tres cuartas partes en la base de la Tierra, hay un constante cambio en el ciclo hidrológico y este es finito. El volumen de agua que hay en la tierra es aproximadamente de 1,500 millones de kilómetros cúbicos; sin embargo, se encuentran áreas del planeta en donde el agua es muy escasa (6, 7).

Del total de agua distribuida en el planeta, cerca del 97% no es utilizable de forma directa para el consumo humano, debido a que se encuentra en los mares y océanos; entonces el porcentaje restante, es decir, el 3%, sería la reserva utilizable de agua dulce. Dependiendo de su uso se clasifica en doméstico, comercial, industrial, agrícola y público (8, 9).

1. Ciclo hidrológico

El agua sigue un ciclo por el cual cambia de estados en la naturaleza; este ciclo se denomina ciclo hidrológico y es a través de él que el agua obtiene sus distintos contaminantes. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve (8,9).

Al llegar a la superficie, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los ríos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se infiltra en el suelo. Una

parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas (8, 9, 10).

La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo y se acumula en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. En condiciones normales, el nivel freático crece de forma intermitente según se va rellenando o recargando y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales (9).

El agua que se aprovecha del ciclo hidrológico se divide en tres tipos de fuentes:

- a. Fuentes de agua atmosférica: es el agua que constituye la humedad de las nubes y que se precipita en forma de nieve, granizo y lluvia.
- b. Fuentes de agua superficial: es el agua contenida en los océanos, mares, lagos, ríos y pantanos.
- c. Fuentes de agua profunda o subterránea: es el agua subterránea que se acumula cuando todos los pozos del suelo o las rocas se saturan de materiales, es el agua de manantiales y galerías de infiltración (9, 10).

2. Usos del agua

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos sobre la tierra, pudiéndose decir que es la base de la vida (10, 11).

Atendiendo a su uso se clasifica de la manera siguiente:

- a. Doméstico: utilización del agua para beber, preparación de alimentos, higiene personal, lavandería.

- b. Industrial: es el agua utilizada como materia prima o bien ingrediente en manufactura y/o fabricación. Por ejemplo se utiliza para lavado de minivegetales, fabricación de medicamentos y cosméticos, para producir vapor en calderas, como refrigerante o calefacción en procesos térmicos, como lubricante, etc.
- c. Agrícola: se utiliza para riego y lavado de productos agrícolas. Por ejemplo, para riego por goteo o aspersión en diferentes cultivos, en la elaboración de abono orgánico, etc.
- d. Público: se refiere al agua que se utiliza en la demanda de incendios, higiene de la población, fuentes, bebederos, etc. Por ejemplo chorros públicos, fuentes, lavaderos públicos, etc.
- e. Recreativo: se refiere al agua utilizada para baño, natación, deportes acuáticos, etc. Por ejemplo, piscinas públicas y privadas (10, 11).

Para la mayoría de estos usos es primordial la calidad del agua, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias presentes puede alterar su calidad, y la puede convertir en inservible y a veces altamente peligrosa para la salud (10, 11).

3. Impurezas del agua

El agua durante su condensación y precipitación, en forma de lluvia o nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de materia orgánica e inorgánica. Al circular por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas, compuestos como sulfatos, cloruros, bicarbonato de sodio y potasio, óxidos de calcio y magnesio. También las aguas superficiales suelen contener residuos domésticos e industriales y las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos como nitrógeno y cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables (11).

Por lo tanto, las impurezas que vuelven insegura o de una u otra forma inservible al agua para ser usada, son los siguientes:

- a. Microorganismos: los cuales pueden causar enfermedades o impartir color, sabor y olor al agua.
- b. Minerales: que causan dureza y otros efectos.
- c. Gases disueltos: que pueden causar acidez o alcalinidad.
- d. Material suspendido: que causa turbiedad y con esto imparte color, sabor y olor a la misma (11).

4. Agua para consumo humano

El agua libre de microorganismos patógenos y sustancias químicas perjudiciales para la salud se denomina potable y la contaminada con desperdicios domésticos o industriales agua no potable o contaminada (11, 12).

El agua que se designa para consumo humano debe ser analizada y de ser necesario algún tratamiento deberá de aplicarse antes de su distribución. Estos tratamientos pueden ser de varios tipos y se determinan según los resultados de las pruebas bacteriológicas, físicas y químicas que se le aplican al agua (11, 12).

5.Aspectos microbiológicos del agua para consumo humano

El agua potable está destinada al consumo humano y no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias químicas perjudiciales para la salud.

El agua puede contaminarse con una diversidad de microorganismos entre ellos bacterias, virus parásitos y otros. Dentro de estos microorganismos algunos son patógenos oportunistas siendo las heces fecales una de las fuentes principales de contaminación (12).

a. Indicadores de contaminación fecal en el agua para consumo humano

Tanto las normas internacionales como la Comisión Guatemalteca de Normas a través de la norma guatemalteca obligatoria de agua potable NGO 29.001. Agua Potable, Especificaciones expresan que las bacterias indicadoras de contaminación fecal deben cumplir con determinados criterios, como estar universalmente presentes en gran número en las heces de los seres humanos y de los animales de sangre caliente; ser fáciles de detectar por métodos sencillos y no se deben desarrollar en el agua en condiciones naturales (13).

b. Bacterias del grupo Coliformes

Son bacilos gram negativo que habitan el intestino del hombre y en general de los animales de sangre caliente. Muchas enfermedades infecciosas como fiebre tifoidea, disentería y el cólera son causadas por bacterias patógenas que se transmiten por medio de aguas contaminadas, de ahí la importancia de los coliformes totales y fecales como indicadores inmediatos de contaminación fecal en el agua (13, 14).

c. Coliformes totales

Son bacterias en forma de bacilos, gram negativo que pueden crecer en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos. Fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24 a 48 horas a temperaturas de 35°C a 37°C. La mayoría son especies del género de la familia *Enterobacteriaceae*, especialmente representados por los géneros tradicionales: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter* (13, 14).

d. Coliformes fecales

Las bacterias de ésta familia son indicadoras por excelencia de contaminación fecal del agua por heces de origen humano principalmente. Son microorganismos que pueden fermentar lactosa de 44 a 45 °C (5 -7) y son llamados también termorresistentes ó termotolerantes. Se ha observado que estos organismos se encuentran en la mayoría de los casos en relación directa con *Escherichia coli*. Por ello su utilización para evaluar la calidad del agua se considera aceptable (13, 14).

e. *Escherichia coli*

Es un coliforme fecal que posee las enzimas β -galactosidasa y β -glucosidasa, que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44 °C ó 44.5 °C con producción de gas y que también producen indol a partir de triptófano. La confirmación de que en verdad se trata de *Escherichia coli* se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de acetilmetilcarbinol y de que no utiliza el citrato como única fuente de carbón. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal (13, 14).

f. Infecciones transmitidas por el agua

Las enfermedades infecciosas se transmiten principalmente a través de las excretas de seres humanos y animales, en particular de las heces. La contaminación fecal de las fuentes de agua hará que los organismos causantes estén presentes en ésta. El uso de esa agua para beber o preparar alimentos, 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 y su control y detección tiene como fundamento la naturaleza del agente causante (1, 14, 15).

g. Infecciones transmitidas por vía oral

Los patógenos humanos pueden transmitirse por vía oral a través del agua. Los que representan un riesgo grave de enfermedad siempre que se encuentran en el agua de bebida son *Salmonella* spp. , *Shigella* spp., *Escherichia coli* patógeno, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolítica*, *Campylobacter jejuni* y *Campylobacter coli*, algunos virus y los parásitos como *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., *Entamoeba histolytica* y *Dracunculus medinensis*. La mayor parte de estos patógenos existen en todo el mundo. La eliminación de todos estos agentes del agua destinada a la bebida tiene gran prioridad (1, 14, 15).

Hay otros agentes patógenos a los que se les concede una prioridad moderada o que figuran en él, ya sea porque su patogenicidad es baja y sólo provocan enfermedades oportunistas en sujetos de inmunidad reducida o deteriorada o porque, aunque pueden causar enfermedades graves, la vía de infección primaria es el contacto o la inhalación, más que la ingestión. Los patógenos oportunistas están presentes naturalmente en el medio

ambiente y no están catalogados como agentes patógenos en sentido propio, aunque pueden causar enfermedades a las personas cuyos mecanismos de defensa locales o generales son deficientes, por ejemplo a los ancianos o los muy jóvenes, a quienes han sufrido quemaduras o heridas extensas, a los enfermos sometidos a un tratamiento inmunosupresor o a los que padecen el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA). Si el agua que estas personas utilizan para bebida o el baño contiene un gran número de estos organismos, puede producirles diversas infecciones cutáneas y de las membranas mucosas del ojo, el oído y la nariz. Ejemplos de estos agentes son *Pseudomonas aeruginosa* y especies de *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Aeromonas*, así como ciertas micobacterias de desarrollo lento (1, 14, 15).

Algunas enfermedades graves que pueden contraerse por la inhalación de agua en la que se han multiplicado los organismos causantes debido a las altas temperaturas y a la presencia de nutrientes son la enfermedad del legionario (*Legionella* spp.) y las causadas por las amebas *Naegleria fowleri* (meningoencefalitis amebiana primaria) y *Acanthamoeba* spp. (Meningitis amebiana, infecciones pulmonares) (1, 14, 15).

Es concebible que el agua de bebida no inocua, contaminada por tierra o heces, sea portadora de otras infecciones parasitarias, como la balantidiasis (*Balantidium coli*) y de ciertas infecciones por helmintos (*Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma*, *Strongyloides* y *Taenia solium*). No obstante, en la mayor parte de estos casos, en el modo de transmisión habitual es la ingestión de huevos en alimentos o tierra contaminados por heces (en el caso de *taenia solium*, la ingestión de la fase larvaria de cisticerco en la carne cruda de cerdo), más que la ingestión de agua contaminada (1).

Los estudios de infectividad proporcionan información de carácter relativo, pero es dudoso que las dosis infecciosas obtenidas sean aplicables a las infecciones naturales. Por ejemplo, numerosas epidemias de fiebre tifoidea sólo pueden explicarse suponiendo que las dosis infecciosas eran muy bajas. La inmunidad individual puede ser muy variable, ya se deba al contacto con un patógeno o a la influencia de factores como la edad, el sexo,

el estado de salud y las condiciones de vida. Los patógenos estarán probablemente muy dispersos y diluidos en el agua de bebida y grandes cantidades de personas se verán expuestas a números relativamente reducidos. Si los alimentos están contaminados por el agua donde existen patógenos que continúan multiplicándose o si una persona vulnerable resulta infectada por el agua, infectando posteriormente a otras por contacto personal, es posible que no sospeche el papel inicial representado por el agua. Por ello, en la lucha contra la enfermedad en una comunidad, hay una estrecha relación entre la mejora del abastecimiento del agua, el saneamiento y la higiene (1, 14, 15).

6. Aspectos fisicoquímicos del agua

a. Aspectos físicos

i. Potencial de Hidrógeno: la determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. El valor del pH en el agua, es utilizado cuando se interesa conocer su tendencia corrosiva o incrustante (16, 17).

ii. Color: el agua de uso doméstico e industrial tiene como parámetro de aceptación la de ser incolora, pero en la actualidad, gran cantidad del agua disponible se encuentra colorida y se tiene el problema de que no puede ser utilizada hasta que no se le trata removiendo dicha coloración (16, 17).

iii. Turbidez: la turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuanto más sólido en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua (16, 17).

iv. Conductividad eléctrica: la conductividad se define como la cantidad de electricidad transportada de un electrodo al otro y nos indica con bastante exactitud, la concentración de

sólidos iónicos disueltos. Para ello se trabajará por medio del Conductímetro Inolab Level II (16, 17).

v. Salinidad: es la medida de concentración total de todas las sales presentes en el agua. El control de la salinidad es importante en el vertido industrial de agua (16, 17).

b. Aspecto Químico

i. Cloro Residual: es el cloro presente en agua como ácido hipocloroso (HOCl) e iones hipoclorito (OCl). Este reacciona rápidamente con amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado. Se presume que la toxicidad de las soluciones que contienen cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito es similar, ya que estos compuestos están en equilibrio dinámico y debido a que las comparaciones de toxicidad pueden efectuarse en base a la medición de la concentración de cloro disponible. El grupo de individuos de alto riesgo está constituido por los asmáticos o por aquellos que presentan reacciones alérgicas después de su exposición al cloro (16, 17).

ii. Dureza Total: es la suma de las concentraciones de cationes metálicos, a excepción de los metales alcalinos y del ion hidrógeno. Este conjunto de cationes está formado en un 95% por calcio y magnesio, acompañado por cuatro aniones: cloruro, sulfato, carbonato y bicarbonato. La dureza total está compuesta por la dureza temporal y la dureza permanente. La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el lavado doméstico e industrial, provocando que se consuma más jabón, al producirse sales insolubles. En calderas y sistemas enfriados por agua, se producen incrustaciones en las tuberías y una pérdida en la eficiencia de la transferencia de calor. Además le da un sabor indeseable al agua potable. Grandes cantidades de dureza son indeseables por razones antes expuestas y debe ser removida antes de que el agua tenga uso apropiado para las industrias de bebidas, lavanderías, acabados metálicos, teñido y textiles.

La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/l de dureza. Niveles superiores a 500 mg/l son indeseables para uso doméstico (16, 17).

iii. Sulfatos: la medición del ión sulfato es de suma importancia ya que tiene la tendencia a formar incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor en el agua para abastecimiento público e industrial. Pueden considerarse a los sulfatos como indirectamente responsables de dos serios problemas relacionados con el manejo y tratamiento de aguas residuales: Olor y corrosión de tuberías, resultado de la reducción de los sulfatos a sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias. La presencia o exceso de sulfatos en agua para consumo humano, provoca efectos purgativos en las personas que la ingieren (16, 17).

iv. Sólidos Totales Disueltos (STD): la determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). En el agua para consumo humano, un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor (16, 17).

v. Calcio: cantidades elevadas de sales de calcio, se descomponen al ser calentadas, produciendo incrustaciones dañinas en calderas, calentadores, tuberías y utensilios de cocina; también interfieren con los procesos de lavado doméstico e industrial, ya que reaccionan con los jabones, produciendo jabones de calcio insolubles, que precipitan y se depositan en las fibras, tinas, regaderas, etc. (16, 17).

vi. Magnesio: los iones magnesio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado magnesio o calcio (16, 17).

vii. Nitratos: son sales químicas derivadas del nitrógeno que, en concentraciones bajas, se encuentra de forma natural en el agua y en el suelo. La presencia de nitratos en las aguas de abastecimiento público es debida a la contaminación de las aguas naturales por compuestos nitrogenados. Sanitariamente los nitratos solos son peligrosos para ciertos niños menores de un año. La ingestión del agua con nitratos en concentración superior a 45 mg/l puede producir metahemoglobinemia infantil. En razón de la pequeña cantidad de agua que suelen consumir los niños directamente como tal o indirectamente en la

preparación de sus alimentos, no será difícil encontrar para ellos agua de otra procedencia con un contenido bajo de nitratos (16, 17).

La remoción económica de nitratos está aun en vías de experimentación; por lo que se hace necesario que las autoridades sanitarias de la zona donde el contenido de nitratos sobrepase la concentración límite se mantenga alerta y adviertan a la población sobre los peligros que supone la utilización del agua en los alimentos de los niños e indiquen otras fuentes que pueden utilizarse sin peligro. El límite de concentración máxima aceptable es 20 mg/l y el límite máximo permisible es de 45 mg/l (16, 17).

viii. Nitritos: son una etapa intermedia en el ciclo de nitrógeno. Pueden estar en el agua como resultado de la descomposición biológica de los materiales proteicos, cuando está correlacionada con otros tipos de nitrógeno puede indicar contaminación orgánica. Sanitariamente indica que existe la presencia de materia orgánica. El límite de concentración máxima permisible es de 0.01 mg/l (16, 17).

ix. Hierro: se encuentra disuelto en muchas aguas naturales, fundamentalmente en las aguas subterráneas, ya que las sales solubles son en general las ferrosas. Principalmente se encuentra disuelto en forma de bicarbonato ferroso $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. La presencia de acumulaciones de óxido férrico en las canalizaciones y en los depósitos puede ser motivo de crecimiento de bacterias ya que este elemento es una fuente de energía para las bacterias sobre todo para las fijadoras de hierro. Es un constituyente normal del organismo y sus sales no son tóxicas en pequeñas cantidades. Comunica al agua un sabor astringente, aunque este sabor no quiere decir que el agua sea im potable (16, 17).

Los suministros de agua que contienen más de 0.1 mg/l de hierro son perjudiciales para casi todos los usos industriales y para muchos de ellos la tolerancia no debe exceder a 0.1 mg/l. El hierro produce problemas en casi todo tipo de industria al exceder estas cantidades, por ejemplo en las industrias de cuero les produce manchas y decoloraciones y causa pérdidas en el blanqueo. El límite máximo aceptable es 0.100mg/l y el límite máximo permisible es 1.00 mg/l (16, 17).

x. Manganeso: en las aguas potables, el manganeso produce, aun en pequeñas cantidades, manchas muy tenaces e inconvenientes en los muebles sanitarios, siendo necesarios medios especiales para su eliminación, como la precipitación química, la aireación, la supercloración y el uso de materiales especiales de permutación iónica (16, 17).

Selección del método: se prefiere el método del persulfato para la cuantificación de manganeso, en muestras desconocidas, porque es menos afectado por las interferencias de cloruros y por ser más rápido en presencia de bajas concentraciones de manganeso. El método del peryodato es adecuado para muestras que contengan más de 0.01 mg de manganeso y que se encuentren exentas de cloruros y materia orgánica. El límite máximo aceptable es 0.050 y el límite máximo permisible es 0.500 mg/l (16, 17).

xi. Cromo: el cromo es un metal pesado altamente peligroso para los seres humanos. Debido a que el cromo es, en general, de baja solubilidad, los niveles que se encuentran en el agua por lo común son bajos, sin embargo existen ejemplos de contaminación del agua, en algunos casos muy serios, cuando efluentes que contienen compuestos de cromo se han evacuado en los ríos. Puede estar en forma trivalente o hexavalente, ya sea como sal soluble o como partículas insolubles, y muchas veces como complejos químicos. La valencia de la forma química en las aguas naturales se ve influenciada por la acidez del agua. Los niveles de cromo total en el agua suelen ser de 10 ug/l, o menos, rara vez los niveles llegan a exceder los 25, excepto en situaciones donde la contaminación es alta (16, 17).

El agua potable contiene normalmente concentraciones muy bajas de cromo (<5 ug/l). El cromo trivalente se presenta muy rara vez en el agua potable que ha sido clorada, se presume que la mayor parte del cromo que contiene el agua se halla en forma hexavalente (16, 17).

C. Tratamiento y desinfección del agua

Las principales fuentes de agua con fines de consumo humano son de origen superficial, por lo que el tratamiento y protección de dichas fuentes tiene una importancia fundamental, debe poseer calidad satisfactoria para abastecer a la población. El objeto del

tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultar desagradables o perjudiciales para la salud (18, 19).

Los principales procesos de transferencia utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano son los siguientes:

1. Transferencia de sólidos
2. Transferencia de iones
3. Transferencia de gases
4. Transferencia molecular o de nutrientes (21)

1. Transferencia de sólidos

Se consideran en esta clasificación los procesos de cribado, sedimentación, flotación y filtración (21).

a. Cribado o cernido

Consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas o tamices, los cuales retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos y toda clase de residuos sólidos. También está considerado en esta clasificación el microcernido, que consiste básicamente en triturar las algas reduciendo su tamaño para que puedan ser removidas mediante sedimentación (21).

b. Sedimentación

Consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación (21).

c. Flotación

El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son

retirados por desnatado. Para mejorar la eficiencia del proceso, se emplean agentes de flotación (21).

Mediante este proceso se remueven especialmente grasas, turbiedad y color. Los agentes de flotación empleados son sustancias espumantes y microburbujas de aire (21).

d. Filtración

Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimiento en el caso de aguas turbias. Los medios porosos utilizados además de la arena (que es el más común) son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo del coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles (21).

2. Transferencia de iones

La transferencia de iones se efectúa mediante procesos de coagulación, precipitación química, absorción e intercambio iónico (21).

a. Coagulación química

La coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso. Los coagulantes más efectivos son las sales trivalentes de aluminio y hierro. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color (21).

b. Precipitación química

La precipitación química consiste en adicionar al agua una sustancia química soluble cuyos iones reaccionan con los de la sustancia que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción del hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal (21).

c. Intercambio iónico

Como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal (21).

d. Absorción

La absorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo (21).

3. Transferencia de gases

Consiste en cambiar la concentración de un gas que se encuentra incorporado en el agua mediante procesos de aereación, desinfección y recarbonatación (21).

a. Aereación

La aereación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersion o burbujeo. Se usa en la remoción de hierro y manganeso, así como también de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, para controlar la corrosión y olores (21).

b. Desinfección

Consiste en la aplicación principalmente de gas cloro y ozono al agua tratada (21).

c. Recarbonatación

Consiste en la aplicación de anhídrido carbónico para bajar el pH del agua, normalmente después de un ablandamiento (21).

4. Transferencia molecular

En el proceso de purificación natural del agua, las bacterias saprófitas degradan la materia orgánica y transforman sustancias complejas en material celular vivo o en sustancias más simples y estables, incluidos los gases de descomposición. También los organismos fotosintéticos convierten sustancias inorgánicas simples en material celular, utilizando la luz solar y el anhídrido carbónico producto de la actividad de las bacterias y a la vez, generan el oxígeno necesario para la supervivencia de los microorganismos aeróbicos presentes en el agua.

Este tipo de transferencia se lleva a cabo en la filtración, en la cual los mecanismos de remoción más eficientes se deben a la actividad de los microorganismos (21).

5. Otros procesos utilizados

Además de los procesos de transferencia expuestos, también se utilizan en el tratamiento del agua para consumo humano la estabilización de solutos, la desalinización y la fluoruración (21).

a. Estabilización de solutos

la estabilización de solutos consiste en transformar un soluto objetable en una forma inocua, sin llegar a su remoción. Son ejemplos de este proceso la transformación del anhídrido carbónico contenido en el agua en bicarbonato soluble mediante la adición de cal o el pasar el agua a través de lechos de mármol. También se puede citar la transformación de ácido sulfhídrico en sulfato (21).

b. Desalinización

Proceso mediante el cual se remueve el exceso de cloruros en el agua, transformando las aguas salobres en dulces. Este proceso se puede realizar mediante destilación, ósmosis inversa, entre otros (21).

c. Fluoruración

Adición de fluoruros al agua para evitar caries dentales, principalmente en los niños menores de 5 años (21).

D. Norma COGUANOR NGO 29 001. Agua Potable, Especificaciones

Actualmente se conocen los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos mediante los cuales se determina la calidad del agua, estos a su vez, tienen asociados valores cualitativos y cuantitativos, que deben estar comprendidos entre los límites que el estudio y la experiencia ha encontrado necesario o tolerable para el consumo humano; los cuales en su mayor parte han sido fijados por normas (12).

En Guatemala han sido escritas todas estas normas y son publicadas por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, y las denomina norma COGUANOR NGO 29 001. Agua Potable, Especificaciones (en los anexos 4, 5, 6, 7 y 8 se describen los parámetros que la norma evalúa) y son especificaciones para agua de consumo humano (12).

Existen dos valores que definen los límites máximos y permisibles aceptables para las concentraciones de sales y para los datos físicos como color, olor, turbiedad, etc.

- a. Límite máximo aceptable (LMA): se refiere al límite arriba del cual el valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua pasa a ser rechazable para el consumidor, pero no implica daños a la salud del mismo.
- b. Límite máximo permisible (LMP): se refiere al límite arriba del cual es valor de cualquier característica de calidad del agua indica que el agua no es adecuada para

el consumo humano (en los anexos 4, 5, 6, 7 y 8 se describen los parámetros que la norma evalúa) (12).

E. Estudios realizados

Se han realizado varios estudios en las Facultades de Ingeniería y Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala sobre control de la calidad del agua potable en distintas regiones del país, pero no existe ningún estudio acerca de la calidad de la misma en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento El Progreso.

1. Algunos estudios realizados en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

- a. Zanotti, P. en Septiembre de 2001, realizó la determinación de la calidad física, química y bacteriológica del agua para consumo humano en Palín, Escuintla, concluyendo que el agua distribuida en este municipio cumple con los parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones; sin embargo, no se cumplen con los parámetros microbiológicos de la misma norma, por lo que no es apta para consumo humano y pone en riesgo la salud de sus habitantes (19).
- b. Cervantes, S. en mayo de 2004 evaluó la calidad del agua potable del municipio de Guastatoya, concluyendo que la cloración no se realiza de manera óptima para asegurar la potabilidad del agua, por lo que no es apta para el consumo humano de la población (22).
- c. Roldán, A. en noviembre de 2006 determinó la calidad físicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano distribuida en la población de Guazacapán, Santa Rosa, concluyendo que el agua no cumple con los parámetros microbiológicos de la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones por lo que no es apta para el consumo de la población, poniendo en riesgo la salud de sus habitantes (20).

2. Algunos estudios realizados en la Facultad de Ingeniería

- a. Solórzano, R. realizó en octubre de 2004 la determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento La Carbonera en el municipio de Sanarate, concluyendo que el agua cumple con las especificaciones de la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones, por lo que es apta para el consumo humano y puede ser usada sin ningún tratamiento en las industrias de alimentos en general, jabón, detergente y cemento (11).

- b. Sarceño, E. en mayo de 2007 evaluó el sistema que alimenta agua tratada a las máquinas de hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen de Insuficiencia Renal, los parámetros que incluyó en el estudio concluyendo que dicha agua no es apta, ya que no cumple con las normas nacionales e internacionales, poniendo en riesgo la salud de los pacientes que la utilizaban (23).

IV. JUSTIFICACION

El agua es un elemento finito y frágil que juega un papel complejo y decisivo tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales; a pesar de esto, en Guatemala la problemática actual en cuanto a la calidad de este elemento es un factor limitante para su utilización, haciéndolo tan vulnerable que puede verse amenazado si no se tiene la capacidad de proveer a la población el nivel de desarrollo social y económico necesario para la utilización racional y sustentable los sistemas hidrológicos y la infraestructura para un adecuado manejo de los recursos hídricos (24).

En todo el país existe una tendencia al deterioro de los cuerpos de agua por la contaminación generada por aguas residuales de origen doméstico, agrícola y agroindustrial lo que provoca efectos negativos en la calidad del agua para consumo humano repercutiendo en la salud de la población sobre todo en el interior de la república. San Agustín Acasaguastlán no es la excepción, ya que estadísticas realizadas por el centro de salud de la localidad demuestran la existencia de parasitismo intestinal en los pobladores, pudiendo ser la calidad del el agua para consumo uno de los factores de mayor riesgo de contraer dichas enfermedades si no se realiza adecuadamente la desinfección de éste recurso.

Actualmente la población de San Agustín no cuenta con estudios que demuestren la calidad del agua para consumo humano que es distribuida por la municipalidad por lo que la evaluación de las características físicas, químicas y microbiológicas permitió proporcionar acciones correctivas que ayuden a mejorar el agua de consumo para la población.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General:

Determinar la calidad del agua para consumo humano que la municipalidad provee al casco urbano del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso a través de análisis microbiológicos y fisicoquímicos en conformidad con la norma COGUANOR NGO 29 001. Agua Potable, Especificaciones.

B. Objetivos Específicos:

1. Determinar la presencia de Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* presentes en el agua para consumo humano que abastece la municipalidad al área urbana del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, mediante análisis microbiológicos establecidos.
2. Determinar la calidad fisicoquímica del agua para consumo que la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán abastece al área urbana cumple mediante la evaluación de los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.
3. Establecer si el agua para consumo humano que la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso abastece al área urbana cumple con la norma COGUANOR NGO 29001 Agua Potable, Especificaciones .

VI. HIPÓTESIS

Por ser un estudio Descriptivo, no se presenta hipótesis.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo de Trabajo

Representado por el nacimiento de agua ubicado en la sub-cuenca del río Hato en la aldea Puerta de Golpe, el tanque de recolección y la red de distribución domiciliar de agua para consumo que la Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán provee al área urbana del municipio.

B. Muestra

Selección aleatoria estratificada de 90 muestras de agua que incluye el nacimiento, el tanque de distribución y los 7 barrios que conforman el área urbana con un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error del 10%, los muestreos incluyeron el nacimiento de donde se obtiene el agua para consumo, el tanque donde se recolecta y la red domiciliar.

C. Recursos

1. Humanos

- a. Jennipher Aymé Pensamiento Vargas (tesista)
- b. Licda. Ana Rodas de García (asesora)
- c. Personal de la Municipalidad del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

2. Institucionales

- a. Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.
- b. Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico –LAFYM- Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

3. Equipo y Materiales de Laboratorio

a. Equipo

Horno

Incubadora a 35°C +/- 0.5 °C

Baño María a 44.5 °C +/- 0.5 °C

Centrífuga

Autoclave

Balanza

Cabina de Bioseguridad clase II

Potenciómetro Inolab Level I

Conductímetro Inolab Level II

Espectrofotómetro Spectroquant Nova 60

Refrigerador

Termorreactor

Turbidímetro Turbiquant

b. Materiales

Cápsula de porcelana

Frascos de plástico

Frascos de vidrio con tapón de rosca

Gradillas plásticas

Hielera

Mechero Bunsen

Pipetas volumétricas de 1 mL

Pipetor

Bureta

Tubos de Ensayo con capacidad para 20 mL.

Tubos de ensayo con capacidad para 30 mL

Campanillas de Durham

Tapones plásticos para tubos sin o con rosca con tapón o gasa.

Hielo

c. Reactivos

Reactivo de Kovacs

Solución de Fenoftaleína

Solución de Ácido sulfúrico 0.2 N

Solución de Dicromato de potasio 1N

Solución de EDTA 0.01 M

Solución de Hidróxido de sodio 1N

Solución de Negro ericromo-T

Solución de Nitrato de plata 0.0141 N

Solución de Tiosulfato de Sodio

d. Cepas y Controles

Cepa *E. coli* ATCC 25922

e. Medio de Cultivo

Caldo Lauril Triptosa

Caldo Bilis Verde Brillante

Caldo *Escherichia coli* (EC)

Caldo *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG)

Agar MacConkey

Agar Les-Endo

Caldo MR_VP

Agar Citrato

Medio MIO

ONPG

D. Metodología**1. Selección de los sitios de muestreo**

Se utilizó la red de distribución del municipio de San Agustín Acasaguastlán, que consiste en el nacimiento de agua ubicado en la sub-cuenca del río Hato, el tanque de distribución y red domiciliar (grifos), tomando en cuenta puntos cercanos y lejanos, con el

propósito de establecer la forma como llega el agua al usuario en las terminales de la red los cuales representarán los puntos críticos (12, 16).

2. Toma de muestra

Las muestras destinadas para el análisis físico y químico, se tomaron teniendo especial cuidado de no contaminarlas antes de llegar al laboratorio y se transportaron en recipientes estériles con capacidad de medio litro y en refrigeración (a menos de 8°C) (12, 16).

La técnica utilizada para la toma de muestra fue la siguiente: se enjuagó 3 veces consecutivas el envase destinado a la muestra con el agua que se muestreó previo a su toma, luego el envase se identificó debidamente con una etiqueta que lleva los siguientes datos: lugar, fuente, día, hora, examen, tomada por, municipio, departamento. El período de tiempo comprendido entre la toma y el inicio de los análisis físicos y químico no fue mayor de 20 horas (12, 16).

Con respecto al tipo de muestreo para el examen bacteriológico, el grifo que se eligió para los exámenes estaba en buenas condiciones, conectado directamente a la represa de distribución, se flameó y se dejó correr el agua durante dos minutos y se tomó la muestra en frascos estériles de vidrio esmerilado con boca ancha y de 125 mL de capacidad. El tapón y el cuello del frasco se protegieron con una cubierta de papel Kraft. La muestra se transportó en hielo inmediatamente que se tomó, se llevó al laboratorio para su examen correspondiente (12, 17).

3. Análisis bacteriológico

La Técnica de Fermentación de Tubos Múltiples es considerada como estándar para la determinación del grupo coliforme (12, 16).

a. Fase Presuntiva

Se prepararon 15 tubos, de los cuales cinco tubos son preparados con caldo Lauril Triptosa (LTB) a una concentración doble y los otros 10 a concentración simple.

Se prepararon las diluciones respectivas y se procedió a la inoculación de las muestras al medio.

Se incubaron los tubos a 35°C +/- 0.5°C por 24 horas +/- 2 horas.

Se chequeó si hay crecimiento, gas y formación de ácido (sombra de color amarillo), si no hubo producción de gas o ácido evidente, se reincubó por 24 horas mas, para un total 48 horas +/- 3 horas.

Se registró la presencia o ausencia de crecimiento, gas y producción de ácido.

La producción de ácido o gas en los tubos o botellas dentro de las 48 horas +/- 3 horas se consideró una reacción presuntiva positiva.

Se sometieron los tubos positivos a la fase confirmatoria (12, 16).

b. Fase Confirmatoria

Se usó caldo lactosado Bilis Verde Brillante (CBVB) y caldo *Escherichia coli* (EC).

Se evaluaron todos los tubos presuntivos o frascos que mostraron crecimiento, cualquier cantidad de gas o ácido dentro de las 24 horas +/- 2 horas de incubación.

Si la fermentación activa o la reacción ácida aparecen en la prueba presuntiva antes de las 24 horas +/- 2 horas, se transfiere al medio confirmatorio, preferiblemente examinar los tubos a las 18 horas +/- 1 hora.

Si los tubos presuntivos adicionales o las botellas muestran fermentación activa o reacción ácida al final de las 48 horas +/-3 horas del periodo de incubación se transfieren a la fase confirmatoria.

Con un asa estéril de 2- 2.5 mm de diámetro, se transfirió una o mas asadas de cultivo al tubo de fermentación conteniendo el caldo lactosado BVB y caldo EC.

Se incubaron los tubos inoculados de Bilis Verde Brillante (BVB) a 35°C +/- 0.5° y caldo *Escherichia coli* (EC) a 44°C.

La formación de gas en cualquier cantidad en las campanas en el Bilis Verde Brillante (BVB) y *Escherichia coli* (EC) en cualquier tiempo (ejemplo: 6 horas +/- 1 hora; 24 horas +/-2 horas) dentro de las 48 horas +/- 3 horas, constituye una prueba confirmatoria positiva.

Se calculó el valor del número más probable (NMP) del número de tubos con el caldo lactosado Bilis Verde Brillante (CLBVB) positivos de acuerdo a la tabla autorizada para determinar número más probable (NMP) en aguas) (12, 16).

c. Fase completa

Para establecer la presencia de coliformes y proveer datos de control de calidad se usó el test completo en por los menos el 10% de los tubos confirmatorios positivos.

A 44.5°C se consideró positiva una prueba completa en los caldos *Escherichia coli* (EC) o *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG).

Una prueba positiva en caldo lactosado Bilis Verde Brillante (CLBVB) y negativa en *Escherichia coli* (EC) o *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG) indicó la presencia de coliformes no fecales.

Se utilizó la técnica aséptica. Se estrió el agar Les-Endo o el agar MacConkey de cada tubo del caldo lactosado Bilis Verde Brillante (CLBVB) positivo tan pronto como fue posible.

Después de observar gas, se estrió las cajas de manera de aislar las bacterias (separadas por lo menos 0.5 cm).

Si hubo presencia de coliformes:

Se utilizó un asa de 3 mm de diámetro o una asa en el en la punta.

Se estrió la caja evitando romper el agar.

Se flameó el asa dentro de la 2da y 3ra estría para mejorar el aislamiento.

El desarrollo sobre el agar Les-Endo se define como colonias "Típicas de rosado a rojo oscuro con una superficie verde metálica " o "Atípicas como colonias rosado, rojo, blanco o colonias sin color o sin brillo" después de las 24 horas de incubación.

Se incubaron las cajas a 35°C +/- 0.5°C por 24 +/- 2 horas.

De cada caja se recogen 1-2 colonias típicas de colonias bien aisladas o si las colonias no típicas están presentes se recogen 2 o mas colonias lo más parecidas a los organismos del grupo coliforme y se transfiere cada colonia aislada a un tubo de fermentación con caldo CLT (Caldo Lauril Triptosa) y un agar en slant (Tripticasa soya).

Se incubaron los tubos secundarios de Caldo Lauril Triptosa con campanas a 35°C +/- 0.5°C por 24 horas +/- 2 horas.

Si no hubo producción de gas dentro de las 24 horas +/- 2 horas se reincuban y luego se examinan de nuevo hasta las 48 horas +/-3 horas (12, 16).

d. Interpretación de la prueba completa

La formación de gas en los tubos secundarios de caldo lauril triptosa dentro de las 48 horas +/-3 horas y demostración de bacilos gram negativo, no esporoformadores, se interpretó como test completo positivo, demostrando la presencia del grupo coliforme (12, 16).

e. Técnica de Fermentación de Tubos Múltiples para análisis en aguas de miembros del grupo coliforme Fecal

Se sometieron todas las pruebas presuntivas positivas en tubo o botella que mostraron gas, crecimiento y formación de ácido dentro de las 48 horas de incubación por los coliformes fecales.

Se mezclaron suavemente los tubos o botellas. Utilizando un asa de 3-3.5 mm de diámetro o un hisopo estéril se transfirieron caldo de cada tubo a tubos o botellas con caldo *Escherichia coli* (EC).

Se incubaron los tubos de *Escherichia coli* (EC) en baño de María a 44.5°C +/- 0.2°C por 24 horas +/- 2 horas. Todos los tubos fueron colocados dentro de los 30 minutos después de la inoculación dentro del baño.

Los tubos estuvieron sumergidos arriba del nivel del medio.

La producción de gas con crecimiento en el caldo *Escherichia coli* (EC) dentro de las 24 horas +/- 2 horas o menos se consideró una prueba positiva para coliformes fecales.

Una débil producción de gas o poco crecimiento se consideró prueba negativa.

Se calculó el número más probable (12, 16).

f. Procedimiento para la identificación de *Escherichia coli* en aguas

Se utilizaron tubos de vidrio esmerilado que no fluorescan bajo luz U.V. en los 366 nm.

Se sometieron todos los tubos o botellas positivas en la prueba presuntiva que mostraron gas, ácido y crecimiento dentro de las 48 horas +/- 3 horas de incubación para el test de *Escherichia coli*.

Se mezclaron suavemente los tubos o botellas de fermentación que muestran la presencia de gas, ácido y crecimiento.

Usando un asa estéril de 3.0 – 3.5 mm de diámetro o un hisopo estéril, se transfirieron a tubos o botellas con *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG).

Se incubaron los tubos o botellas con *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG) en baño María o incubadora a 44.5°C +/- 0.2°C por 24 horas +/- 2 horas dentro de los 30 minutos después de la inoculación.

Se examinaron todos los tubos o botellas con *Escherichia coli* con 4-metilumbelliferil- β -D-glucuronido (EC-MUG) con una lámpara de luz U.V. de 6 watts.

La presencia de fluorescencia azul es considerada positiva para *Escherichia coli* y negativo para *Klebsiella pneumoniae*.

Se utilizó un tubo control para evitar la confusión en la interpretación de resultados, como por ejemplo una débil auto-fluorescencia del medio como una respuesta positiva.

Se reportaron de acuerdo al método utilizado de Número Más Probable (NMP) o Presencia - Ausencia (en los anexos 6, 7, y 8 se describen las tablas que se utilizan en el método del Número más probable) (12, 16).

4. Análisis fisicoquímicos

- a. Parámetros analizados:** Potencial de hidrógeno, color, turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos (STD), cloro residual, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro, manganeso y cromo (en los anexos 4 y 5 se describen los límites máximos aceptables y permisibles que la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones exige).
- b. Metodología:** los métodos que se utilizaron se basan en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 2120C, 2130B, 2340A, B, C; 2510A, 2520B, 3500-Mn B, 4500-Cl D, 4500-Cl D, 4500 Cl⁻ E, 4500-H⁺ B, 4500-NO₂ B, 4500-NO₃ C, 4500-SO₄²⁻ F, 4500-Fe-B para cada parámetro fisicoquímico (17, 25).

E. Diseño estadístico

1. **Tipo de estudio:** Descriptivo.

2. **Tipo de muestreo:** aleatorio estratificado.

Debido a que se cuenta con una población de 1001 usuarios que forman parte de la red de distribución de agua para consumo humano y asumiendo la máxima variación posible ($\sigma^2 = 0.25$), se tomaron 90 muestras que incluyen el nacimiento, el tanque y las viviendas del área urbana, dichas muestras se tomaron al azar de forma estratificada por barrio: El Centro 7 muestras (7%), San Sebastián 19 muestras (22%), Tamarindo 16 muestras (19%), Guaytán 15 muestras (17%), Aguahiel 11 muestras (13%), Río Hato 11 muestras (12%) y San Juan 9 muestras (10%) con un porcentaje de error del 10% y un Nivel de Confianza del 95% (en el anexo 9 se muestra el mapa de muestreo).

3. Análisis de Resultados

- a. Análisis descriptivo de los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico y bacteriológico por medio de una mediana, un rango y un rango intercuartil, total y por barrio.
- b. Con las variables clasificadas según cumplan o no con la norma COGUANOR 29 001 se estimó la proporción de cumplimiento para cada una con un intervalo de confianza del 95 %.
- c. Desglose de los resultados por barrio (análisis descriptivo).

VIII. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos al analizar los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos en los diferentes puntos de muestreo durante la época lluviosa en la cabecera municipal de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

En las tablas de la 1 a la 6 se muestran los resultados de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos realizados en el nacimiento, el tanque y la red que en conjunto forman el sistema de distribución de agua para consumo humano que suministra la municipalidad a la cabecera.

Se obtuvieron 90 muestras de las cuales 88 fueron tomadas de los 7 barrios que conforman la cabecera y los otros dos fueron tomados uno en el nacimiento y el otro en el tanque de distribución, el muestreo se realizó en forma estratificada proporcional a la población de cada barrio y se realizaron durante la época lluviosa. Los parámetros microbiológicos evaluados fueron Coliformes totales, Coliformes fecales y *Escherichia coli* expresados en NMP/ 100 ml y los parámetros fisicoquímicos fueron color, olor, pH, conductividad, turbidez, sólidos totales disueltos, dureza total, manganeso, magnesio, calcio, hierro, nitratos, nitritos, cromo, salinidad y cloro residual.

En la tabla No. 1 se observan los parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*) evaluados en el nacimiento y en el tanque de distribución, dichos parámetros sobrepasan los límites máximos permisibles para coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* de la Norma COGUANOR (No se realizó análisis estadístico de medidas de tendencia central debido a que solo se tomó una muestra del nacimiento y una del tanque de distribución).

Tabla No. 1
Parámetros microbiológicos evaluados en el nacimiento y en el tanque de distribución de agua para consumo humano de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso comparados con la Norma COGUANOR NGO 29001.

<i>Parámetro</i>	<i>Coliformes Totales</i> ¹ NMP/ 100 ml	<i>Coliformes Fecales</i> NMP/100 ml	<i>Escherichia coli</i> NMP/ml
Norma COGUANOR NGO 29001	<2	<2	Ausente
Nacimiento	4	<2	<2
Tanque de distribución	4	<2	<2

1NMP/ 100 ml: Número más probable en 100 mililitros.

Fuente: Datos Experimentales.

En la tabla No. 2 y gráfica No. 1 se muestra el análisis estadístico de la mediana de los parámetros microbiológicos evaluados en los 7 barrios que conforman la red de distribución de agua para consumo humano por parte de la municipalidad. Los resultados obtenidos en los 7 barrios sobrepasan los límites máximos permisibles de los parámetros coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* que establece la Norma COGUANOR.

Tabla No. 2
Parámetros microbiológicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de agua para consumo humano en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

Parámetros	Coliformes Totales ¹ NMP/ 100 ml			Coliformes Fecales NMP/100 ml			Escherichia coli NMP/100 ml		
	¹ Med	² Mín	³ Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx
El Centro	23	13	240	13	2	240	<2	<2	22
San Sebastián	13	2	220	8	2	90	4	<2	90
Guaytán	22	2	130	9	<2	130	<2	<2	50
Río Hato	23	11	240	12	2	130	8	<2	23
San Juan	50	22	170	13	4	30	13	<2	30
Aguahiel	30	14	220	23	4	50	<2	<2	27
Tamarindo	130	2	300	50	2	300	30	<2	80

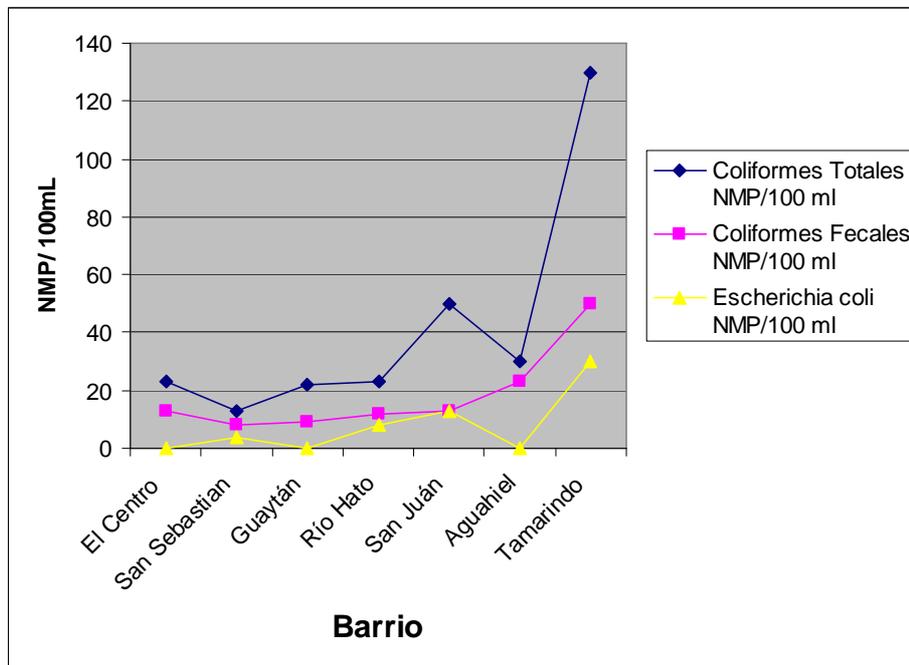
¹NMP/100 ml: Número más probable en 100 mililitros

²Med: Mediana ²Máx: valor máximo ³Mín: valor mínimo

Fuente: Datos Experimentales.

Gráfica No. 1

Parámetros microbiológicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de agua para consumo humano en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.



Observaciones: En la gráfica se muestran los resultados obtenidos de las muestras evaluadas en los 7 barrios que conforman la red de distribución de agua para consumo humano por parte de la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán. Dichos parámetros se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para los parámetros microbiológicos coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* establecidos por la Norma COGUANOR.

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

En la tabla No. 3 se observan los resultados obtenidos al evaluar los parámetros fisicoquímicos en el nacimiento y el tanque de distribución al tomar una muestra de cada uno respectivamente(en los anexos 4 y 5 se describen los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles de la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones).

No se realizó un análisis estadístico de medidas de tendencia central debido a que solo se tomó una muestra de cada lugar.

Tabla No. 3
Parámetros fisicoquímicos evaluados en el nacimiento y en el tanque de distribución de agua para consumo humano de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

Parámetros	Nacimiento	Tanque	Comparación con Norma COGUANOR NGO 29001
Color ¹ UPT/Co	29	28	Aceptable
Olor	⁴ NR	NR	Aceptable
Conductividad ² mS/cm	354	365	Aceptable
Salinidad mg/L	0	0	Aceptable
S. Totales disueltos mg/L	357	368	Aceptable
pH	7.34	7.44	Aceptable
Turbidez ³ UNT	0.98	0.59	Aceptable
Dureza total mg/L	216	224	Aceptable
Hierro mg/L	0.09	0.11	Aceptable
Manganeso mg/L	0.02	0.05	Aceptable
Nitratos mg/L	2.6	1.9	Aceptable
Nitritos mg/L	0.04	0.02	Aceptable
Magnesio mg/L	11.22	17.41	Aceptable
Calcio mg/L	68	61	Aceptable
Cromo mg/L	0.0016	0.24	No Aceptable
Cloro Residual mg/L	0	0.15	No Aceptable

Observaciones: La mayoría de parámetros fisicoquímicos evaluados en el nacimiento y en el tanque de distribución cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001, con excepción del cloro residual que se encuentra por debajo del límite máximo aceptable y el cromo que se encuentra por encima del Límite Máximo Permisible.

¹UPT/Co: unidades de platino-cobalto ²μS/cm: micro simens por centímetro.

³ UNT: unidades nefelométricas de turbiedad ⁴NR: No rechazable

Fuente: Datos Experimentales

En las tablas No.4, 5 y 6 se muestra el análisis estadístico de la medida de tendencia central mediana con sus intervalos (valores máximos y mínimos) de los parámetros

fisicoquímicos evaluados provenientes de los 7 barrios que conforman la red de distribución de agua potable (en los anexos 4 y 5 se describen los límites máximos aceptables y límites máximos permisibles de la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones).

Tabla No. 4
Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de agua de la municipalidad Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

Parámetro	Color ¹Upt/Co	Conductividad ²mS/cm	Salinidad mg/L	Sólidos Totales disueltos mg/L	pH
Barrio	³Med	Med	Med	Med	Med
El Centro	28	44.2	0	45	7.61
San Sebastián	25	384	0	386	7.38
Guaytán	27	407	0	407	7.41
Río Hato	23	385	0	387	7.3
San Juan	25	393	0	393	7.38
Aguahiel	28	397	0	398	7.38
Tamarindo	29	395	0	395	7.23

Observaciones: Los parámetros fisicoquímicos evaluados cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001 en los siete barrios.

¹UPT/Co: Unidades platino cobalto ²μS/cm: micro simens por centímetro.

³Med: Mediana

Fuente: Datos Experimentales

Tabla No. 5

Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de agua de la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

Parámetros Fisicoquímicos	Turbidez ¹ UNT	Dureza Total CaCO ₃ mg/L	Hierro Total mg/L	Manganeso mg/L	Nitratos mg/L
Barrio	² Med	Med	Med	Med	Med
El Centro	0.6	212	0.09	0.01	1.5
San Sebastián	0.3	94	0.07	0.03	1.3
Guaytán	0.18	212	0.14	0.04	1.3
Río Hato	0.26	92	0.08	0.03	1.2
San Juan	0.73	232	0.16	0.13	0.5
Aguahiel	0.64	216	0.17	0.12	3
Tamarindo	0.9	240	0.18	0.08	1.5

Observaciones: Los parámetros fisicoquímicos evaluados cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones en los siete barrios.

¹UNT: unidades nefelométricas de turbiedad ² Med: Mediana

Fuente: Datos Experimentales

Tabla No. 6

Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de agua de la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

Parámetros Fisicoquímicos	Nitritos mg/ L	Magnesio mg/ L	Calcio mg/L	Cromo mg/L	Cloro residual mg/L
Barrio	¹ Med	Med	Med	Med	Med
El Centro	0.03	15.97	59	0.21	0.2
San Sebastián	0.025	10.7	19.4	0.25	0.2
Guaytán	0.04	15.71	59	0.015	0.2
Río Hato	0.03	10.68	19.2	0.23	0.2
San Juan	0.02	29.15	44.85	0.25	0.2
Aguahiel	0.05	16.68	59	0.012	0.2
Tamarindo	0.04	21.30	61	0.022	0.13

Observaciones: Los parámetros de cloro residual y cromo no cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

¹Med: Mediana.

Fuente: Datos Experimentales

En la Tabla No. 7 se observa que porcentaje de las muestras analizadas provenientes del nacimiento, el tanque y la red de distribución en los siete barrios del municipio cumplen y no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

Tabla No. 7
Porcentaje de las muestras de agua analizadas que cumplen y no cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Cantidad de muestras</i>	<i>Porcentaje</i>	Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.
90	100%	No cumplen con los parámetros microbiológicos (Coliformes totales, fecales y <i>Escherichia coli</i>)
90	100%	Cumplen con los parámetros pH, color, turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos manganeso y hierro.
47	52%	No cumplen con el límite máximo permisible para el cromo.
88	97%	No cumplen con el límite máximo aceptable para el cloro residual.

Fuente: datos experimentales. Intervalo de confianza del 95%.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se evaluaron los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del agua para consumo humano que la municipalidad suministra a la cabecera del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso durante la época lluviosa del año, considerando que en época seca los caudales de los ríos baja considerablemente. Se colectaron un total de 90 muestras de agua procedentes del nacimiento, el tanque y de los 7 barrios que conforman la cabecera y son parte de la red de distribución. El agua que llega al tanque de distribución proviene de un nacimiento ubicado en la aldea Puerta de Golpe situado a la orilla del río Hato, uno de los principales ríos del municipio.

Los resultados de la tabla No. 1 indican la presencia de materia orgánica de origen fecal y en consecuencia, la existencia de factores que condicionan la exposición del agua a contaminación por materia orgánica. La población se abastece de agua para consumo humano por medio del nacimiento que se encuentra ubicado en la sub-cuenca del río Hato, este nacimiento de origen subterráneo puede presentar diversos factores potenciales que pueden favorecer la contaminación del manto freático con materia orgánica de origen fecal. Uno de los factores predisponentes más importante es la práctica del fecalismo al aire libre debido a la carencia de sistemas de drenaje en las viviendas y en la aldea Puerta de Golpe el 80% de la población solo cuenta con servicio de letrinas sin eliminación de excretas (5, 26).

El tanque de distribución se encuentra ubicado dentro del casco urbano del municipio en el barrio El Tamarindo, en donde se realizó una inspección al lugar y se recolectó información proveniente del encargado de mantenimiento y limpieza del tanque, afirmándose que dicho tanque solo se limpia y desinfecta cada tres meses y no se cuenta con un sistema de desinfección que potabilice el agua que la población consume. Los factores de riesgo más importantes que pueden provocar contaminación por materia orgánica de origen fecal es la falta de limpieza y de desinfección que garantice la eliminación de los microorganismos indicadores de contaminación fecal. Otro factor de riesgo que puede ser muy importante es la infraestructura del tanque la cual debe estar en perfectas condiciones para no provocar infiltraciones de agua de origen pluvial o aguas residuales de origen doméstico, al inspeccionar el lugar se pudo comprobar que el tanque cuenta con infraestructura en mal estado (rajaduras en la construcción) (26).

Los resultados obtenidos en la tabla No. 2 (gráfica No. 1) indican que no solo el nacimiento y el tanque de distribución contienen contaminación por materia orgánica de origen fecal, sino también la red de distribución, las causas que pueden provocar dicha contaminación además de las señaladas anteriormente está la existencia de tubería en mal estado lo que puede provocar un incremento de dicha contaminación del tanque de a la red de distribución (26).

La contaminación fecal de las fuentes de agua provoca que los organismos causantes estén presentes en ésta, por lo que el uso de esa agua para beber o preparar alimentos, el contacto con ella durante el baño o el lavado de ropa e incluso la inhalación de vapor de agua o aerosoles pueden producir una infección; sin embargo, actualmente el Centro de Salud de la población no tiene registros epidemiológicos que demuestren la presencia de infecciones sobre todo gastrointestinales producidos por agua contaminada, ya que no cuentan con los materiales y las herramientas necesarias para investigación y monitoreo de la calidad del agua (5).

Es importante que el agua para consumo humano cuente con una calidad aceptable no solo para los parámetros microbiológicos, sino también para los parámetros fisicoquímicos, con los cuales es posible demostrar si existe contaminación ya sea por metales o algún otro compuesto. Las tablas No. 3, 4, 5 y 6 muestran las medianas de las muestras evaluadas en cuanto a los parámetros fisicoquímicos del nacimiento, el tanque y la red de distribución; dichos resultados al compararlos con la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones, se demuestra que la mayoría de los parámetros evaluados (color, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, pH, turbidez, dureza total, hierro total, manganeso, nitritos, nitratos, magnesio y calcio) cumplen con dicha norma (. (16, 17)

El cromo es miembro del grupo de los metales pesados, es tóxico y perjudicial dependiendo de la cantidad que se consuma (16). En los muestreos realizados al nacimiento y al tanque, este metal se encuentra por arriba del límite máximo permisible

que dicta la norma, probablemente se debe a que gran parte de la tubería que pasa del nacimiento al tanque de distribución y luego a la red es galvanizada, lo cual provoca un ligero aumento de este metal (26).

El cloro residual es un parámetro fisicoquímico de mucha utilidad en los estudios sobre calidad de agua, ya que por medio de éste se puede comprobar si el agua que se utiliza para consumo humano cuenta con un sistema de desinfección antes de su uso final o no. En este estudio el nivel de cloro residual en las diferentes muestras de agua analizadas, se encuentra por debajo del límite mínimo que la norma exige, esto se debe posiblemente a que la municipalidad no cuenta con un sistema de desinfección según fue informado por el encargado de la institución, por lo que es necesario que se emplee con un sistema de cloración y un plan de saneamiento periódico en el tanque de captación y de esta manera eliminar la contaminación de origen microbiológico que se genere al pasar del nacimiento al tanque (21,27).

La calidad satisfactoria del agua para consumo humano tiene como principal objetivo proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que pueden resultar desagradables o perjudiciales para la salud, por lo que es necesario que el agua de bebida cumpla con todos los parámetros que la norma exige; sin embargo, en este estudio se demostró que el 100% de las muestras evaluadas no cumplen con la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones, ya que los parámetros microbiológicos se encuentran por encima de los límites máximos permisibles y se puede concluir que el agua suministrada por la municipalidad al área urbana del municipio de San Agustín Acasagustlán, El Progreso no es apta para consumo humano (16).

X. CONCLUSIONES

1. Los análisis microbiológicos evaluados demuestran la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la norma COGUANOR en el agua para consumo humano que abastece la municipalidad al área urbana del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, por lo que no es apta para consumo humano.
2. El 100 % de las muestras evaluadas cumplen con los parámetros fisicoquímicos pH, color, turbidez, conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos manganeso y hierro establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.
3. 47 muestras (52%) no cumplen con los parámetros fisicoquímicos cromo y cloro residual como parte de la norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.
4. El agua para consumo humano que la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso abastece al área urbana no cumple con la norma COGUANOR NGO 29001 Agua Potable, Especificaciones.

XI. RECOMENDACIONES

1. Debido a que los análisis microbiológicos realizados al agua para consumo humano que la municipalidad suministra a la población de San Agustín Acasaguastlán El Progreso, durante la época lluviosa del año demostraron que no es microbiológicamente apta para dicho consumo, se recomienda implementar un sistema de desinfección y decontaminación en la red de distribución para no poner en riesgo la salud de los usuarios de este servicio. Se debe clorar el agua sistemáticamente y deben realizar pruebas que demuestren la concentración adecuada de acuerdo a las normas establecidas en Guatemala para agua potable.
2. Se recomienda a la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso la implementación de un programa de control y monitoreo periódico que incluya un plan de limpieza adecuada del tanque de distribución.
3. Establecer un programa de divulgación sobre desinfección y tratamiento del agua para consumo humano por parte de la Municipalidad y el Centro de Salud para evitar enfermedades gastrointestinales en la población más susceptible.
4. Las diferentes autoridades del municipio gestionen la implementación de plantas de tratamiento de agua potable y agua residual para la población del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.
5. Se recomienda realizar un estudio de evaluación de las tuberías que conforman la red de distribución de agua, para establecer su estado físico y verificar si están ocasionando contaminación química y microbiológica de el agua que se consume en dicha comunidad.

XII. REFERENCIAS

1. Organización Panamericana de la Salud. Guías para la calidad de agua potable. 3ra. ed. Ginebra, Suiza: Vol. 1. 2006, 388p.
2. Análisis de la vulnerabilidad futura de los recursos hídricos al cambio climático. Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centro América, México y Cuba. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Junio, 2007. 34p. (p. 1)
3. Memoria de Labores. Unidad Técnica Municipal –UTM-. Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, departamento El Progreso. 1995. (p. 3-15, 50-57)
4. Diagnóstico municipal de San Agustín Acasaguastlán. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- Delegación El Progreso.
5. Sala situacional de San Agustín Acasaguastlán, 2008. Guatemala: Centro de salud del municipio de San Agustín Acasaguastlán, Doc. Tec. 45p.
6. Rodríguez, JM., Marín, R. Fisicoquímica de aguas. España: Ediciones Días de Santos S.A. 1999. 442 p. (p. 2-10).
7. Catalán La Fuente, José. Química del agua. Madrid, España: Editorial Blume, 1969. 800p.
8. Manual del agua. México: McGraw-Hill. México 1990. Tomo I. pp. 4-23. Tomo II pp. 22-19.
9. Roldán G. Fundamentos de Limnología Neotropical. Colombia: Universidad de Antioquia, 1992. 467-479p.

10. Romero Rojas, Jairo Alberto. Calidad del Agua. 2da. Edición. México: Editorial Alfaomega, 1999. 350p.
11. Solórzano, Ponce, RY. Determinación de la calidad de agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento La Carbonera, municipio de Sanarate, departamento El Progreso, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 2005. 128p. (p. 1-18)
12. Departamento de Regulación de los Programas de Salud y Ambiente. Norma guatemalteca obligatoria de Agua potable (COGUANOR). Guatemala: 2003. 20p.
13. Microbiología básica. Wesley A. Volk. 7ª. Edición. HARLA. México:1996. 100p. (p. 713-721).
14. Tebutt, T.H.Y. *et.al.* Fundamentos de control de la calidad del agua. 3ª. Ed. Mexico: Limusa, 2002. 239p.
15. Reasoner, D.J. Agentes patógenos en el agua potable – Estado actual y perspectiva. División de Control de Contaminantes Microbiológicos, WSWRD, NRMRL. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 25p. (p. 3-10)
16. Clesceri LS., Greenberg AE., Eaton AD. Eds. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005. XXXVII+10-161p.
17. Ayres GH. Análisis químico cuantitativo. 4. ed. México: Harla, 1998. 740p. (p. 240).
18. Lee JL. Calidad del agua para consumo humano que suministra la empresa

- municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA): determinaciones, análisis e índices de calidad. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería) 1999. 90p.
19. Zanolli, 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. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2005. 167p. (p. 4-10).
 20. Roldán, A. Determinación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye en la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 2006. 72p.
 21. de Vargas, L. Tratamiento de aguas para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría tomo 1. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2004. 306p.
 22. Cervantes, SM. Evaluación de la calidad del agua potable de Guastatoya cabecera departamental, El Progreso. Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). 2004. 65p.
 23. Sarceño, EE. Evaluación del sistema que alimenta agua tratada a las máquinas de hemodiálisis donde son conectados los pacientes del Centro Médico Militar que padecen insuficiencia renal. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación de postgrado, Facultad de Ingeniería) 2007. 60p.
 24. Estudio de caso Cuenca del río Naranjo. Estudio de la vulnerabilidad actual. Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en

Centro América, México y Cuba. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Septiembre. 2005. 63p.

25. Manual Spectroquant® NOVA 60. MERCK. Fecha de emisión 2/99.

26. Isaac Márquez, P. *et.al.* Calidad sanitaria de los suministros de agua para consumo humano en Campeche. México: Universidad Autónoma de Campeche, (tesis de graduación de postgrado, Departamento de Estudios de Postgrado e Investigación) 2004. 661p. (p. 658-659).

27. Ortiz Héctor Faustino. Fontanero. “Comunicación Personal”. Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán. 11 de mayo de 2009.

Anexo No. 1. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de la municipalidad Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

<i>Parámetros Fisicoquímicos</i>	<i>Color</i> ¹ Upt/Co			<i>Conductividad</i> ² mS/cm			<i>Salinidad</i> mg/L			<i>S. Totales disueltos</i> mg/L			<i>pH</i>		
	³ Med	⁴ Mín	⁵ Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx
Barrio															
El Centro	28	27	29	44.2	44.1	44.3	0	0	0	45	44	46	7.61	7.60	7.62
San Sebastián	25	23	27	384	383	385	0	0	0	386	385	387	7.38	7.37	7.39
Guaytán	27	25	28	407	406	408	0	0	0	407	406	408	7.41	7.40	7.42
Río Hato	23	22	25	385	384	387	0	0	0	387	385	389	7.3	7.1	7.4
San Juan	25	24	26	393	391	394	0	0	0	393	392	395	7.38	7.36	7.39
Aguahiel	28	25	30	397	396	398	0	0	0	398	396	399	7.38	7.37	7.39
Tamarindo	29	28	30	395	394	396	0	0	0	395	394	396	7.23	7.36	7.39

Observaciones: Los parámetros fisicoquímicos evaluados cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001 en los siete barrios.

¹UPT/Co: Unidades platino cobalto ² μS/cm: micro simens por centímetro.

³Med: Mediana ⁴Mín: valor mínimo ⁵Máx: valor máximo

Fuente: Datos Experimentales

Anexo No. 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

<i>Parámetros Fisicoquímicos</i>	<i>Turbidez</i> ¹ UNT			<i>Dureza Total</i> CaCO ₃ mg/L			<i>Hierro Total</i> mg/L			<i>Manganeso</i> mg/L			<i>Nitratos</i> mg/L		
	² Med	³ Mín	⁴ Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx
Barrio															
El Centro	0.6	0.5	0.8	212	211	213	0.09	0.08	0.11	0.01	0	0	1.5	1.3	1.7
San Sebastián	0.3	0.29	0.31	94	93	95	0.07	0.06	0.08	0.03	0.02	0.04	1.3	1.2	1.4
Guaytán	0.18	0.17	0.19	212	210	213	0.14	0.13	0.15	0.04	0.03	0.05	1.3	1.2	1.4
Río Hato	0.26	0.25	0.27	92	91	94	0.08	0.07	0.09	0.03	0.02	0.04	1.2	1.1	1.3
San Juan	0.73	0.72	0.74	232	231	233	0.16	0.15	0.17	0.13	0.12	0.14	0.5	0.4	0.6
Aguahiel	0.64	0.63	0.65	216	215	217	0.17	0.16	0.18	0.12	0.11	0.13	3	2.99	3.01
Tamarindo	0.9	0.6	0.9	240	239	241	0.18	0.17	0.19	0.08	0.06	0.09	1.5	1.4	1.6

Observaciones: Los parámetros fisicoquímicos evaluados cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001 en los siete barrios.

1UNT: unidades nefelométricas de turbiedad

²Med: Mediana ³Min: valor mínimo ⁴Máx: valor máximo

Fuente: Datos Experimentales

Anexo No. 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los siete barrios que conforman la red de distribución de la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso.

<i>Parámetros Fisicoquímicos</i>	<i>Nitritos mg/L</i>			<i>Magnesio mg/L</i>			<i>Calcio mg/L</i>			<i>Cromo mg/L</i>			<i>Cloro residual mg/L</i>		
	¹ Med	² Mín	³ Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx	Med	Mín	Máx
El Centro	0.03	0.01	0.04	15.97	15.90	16.37	59	57	60	0.21	0.2	0.23	0.27	0	0
San Sebastián	0.025	0.023	0.026	10.7	10.6	10.8	19.4	19.2	19.5	0.25	0.24	0.27	0.2	0	0
Guaytán	0.04	0.02	0.05	15.71	15.70	16.31	59	56	60	0.015	0.014	0.016	0.2	0	0
Río Hato	0.03	0.02	0.04	10.68	10.66	10.69	19.2	19.1	19.3	0.23	0.22	0.24	0.2	0	0
San Juan	0.02	0.01	0.03	29.15	29.10	29.30	44.85	44.84	44.86	0.25	0.24	0.27	0.2	0	0
Aguahiel	0.05	0.04	0.05	16.68	16.67	16.87	59	58	60	0.012	0.011	0.013	0.2	0	0
Tamarindo	0.04	0.03	0.05	21.30	21.1	21.40	61	60	64	0.022	0.019	0.023	0.13	0	0

Observaciones: Los parámetros de cloro residual y cromo no cumplen con la Norma COGUANOR NGO 29001.

¹Med: Mediana. ²Mín: valor mínimo. ³Max: valor máximo.

Fuente: Datos Experimentales.

Anexo No. 4. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) para análisis físico según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Características</i>	<i>Límite máximo aceptable</i>	<i>Límite máximo permisible</i>
Color	5.0 u	35.0 u ¹
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT ²

Fuente: norma COGUANOR 29001. Agua Potable, Especificaciones.

1. Unidades de color en la escala de platino-cobalto.

2. unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Anexo No. 5. Límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP) para análisis químico según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Características</i>	<i>Límite máximo aceptable</i>	<i>Límite máximo permisible</i>
Cloro residual libre ^{1,2}	0.5 mg/L ³	1.0 mg/L
Conductividad	---	<1,500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de Hidrógeno ⁴	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
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L
Manganeso (Mn)	0.050 mg/L	0.500 mg/L
Hierro Total (Fe)	0.100 mg/L	1.000 mg/L
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10 mg/L
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1 mg/L

Fuente: norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

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 90% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.
2. En ocasiones que 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. Miligramos (mg) por litro (L).
4. En unidades de pH.

Anexo No. 6. Índice del número más probable (NMP) para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10 mililitros, 1 mililitro y 0.1 mililitro según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>Número de tubos que dan reacción positiva</i>			
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 COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

Anexo No. 7. Índice del número más probable (NMP) para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan diez porciones de diez mililitros (10 de 10mL) según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>No. de tubos positivo</i>	<i>NMP Index/100 mL</i>	<i>Límites de confianza del 95% (aproximados)</i>	
		<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
0	<1.1	0	3.0
1	1.1	0.03	5.9
2	2.2	0.26	8.1
3	3.6	0.39	10.6
4	5.1	1.3	13.4
5	6.9	2.1	16.8
6	9.2	3.1	21.1
7	12.0	4.3	27.1
8	16.1	5.9	36.8
9	23.0	8.1	59.5
10	>23.0	13.5	Infinito

Fuente: norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

Anexo No. 8. Índice del número más probable (NMP) para varias combinaciones de resultados positivos cuando se utilizan cinco tubos con porciones de 10 mL, 1.0 mL, 0.1 mL según la Norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

<i>No. de tubos positivo</i>			<i>NMP Index/100 mL</i>	<i>Límites de confianza del 95% (aproximados)</i>	
<i>Inferior</i>	<i>Medio</i>	<i>Superior</i>		<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
0	0	0	<2	-	-
0	0	1	2	1.0	10
0	1	0	2	1.0	10
0	2	0	4	1.0	13
1	0	0	2	1.0	11
1	0	1	4	1.0	15
1	1	0	4	1.0	15
1	1	1	6	2.0	18
1	2	0	6	2.0	18
2	0	0	4	1.0	17
2	0	1	7	2.0	20
2	1	0	7	2.0	21
2	1	1	9	3.0	24
2	2	0	9	3.0	25
2	3	0	12	5.0	29

3	0	0	8	3.0	24
3	0	1	11	4.0	29
3	1	0	11	4.0	29
3	1	1	14	6.0	35
3	2	0	14	6.0	35
3	2	1	17	7.0	40
4	0	0	13	5.0	38
4	0	1	17	7.0	45
4	1	0	17	7.0	46
4	1	1	21	9.0	55
4	1	2	26	12	63
4	2	0	22	9.0	56
4	2	1	26	12	65
4	3	0	27	12	67
4	3	1	33	15	77
4	4	0	34	16	80
5	0	0	23	9.0	86
5	0	1	30	10	110
5	0	2	40	20	140
5	1	0	30	10	120
5	1	1	50	20	150
5	1	2	60	30	180
5	2	0	50	20	170
5	2	1	70	30	210
5	2	2	90	40	250
5	3	0	80	30	250
5	3	1	110	40	300
5	3	2	140	60	360
5	3	3	170	80	410
5	4	0	130	50	390
5	4	1	170	70	480
5	4	2	220	100	580
5	4	3	280	120	690
5	4	4	350	160	820
5	5	0	240	100	940
5	5	1	300	100	1300
5	5	2	500	200	2000
5	5	3	900	300	2900
5	5	4	1600	600	5300
5	5	5	≥1600	-	-

Fuente: norma COGUANOR NGO 29001. Agua Potable, Especificaciones.

