

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

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure on horseback, a crown above, and various heraldic symbols. The shield is surrounded by a circular border containing the Latin text "UNIVERSITAS CAROLINA ACAD. COACTEMALENSIS INTER CETERAS ORBIS CONSPICUA".

**“ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO DE LA CUENCA DEL  
LAGO PETÉN ITZÁ, UTILIZADA COMO ABASTECIMIENTO DE AGUA POR  
LAS COMUNIDADES DE FLORES, SAN ANDRÉS, SAN JOSÉ, SAN BENITO,  
JOBOMPICHE, SAN MIGUEL, EL REMATE Y EL CAOBA.”**

**MAYRA CAROLINA OVALLE LEÓN**

**MARÍA JOSÉ OZAETA BURGOS**

**INGRID PAOLA DE PAZ REYES**

**QUÍMICAS BIÓLOGAS**

**GUATEMALA, FEBRERO DE 2021**

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

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem in the background. It features a central figure of a man on horseback, surrounded by various symbols including a castle, a lion, and a crown. The Latin motto "LETTERARUM CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal.

**“ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO Y FÍSICOQUÍMICO DE LA CUENCA DEL  
LAGO PETÉN ITZÁ, UTILIZADA COMO ABASTECIMIENTO DE AGUA POR  
LAS COMUNIDADES DE FLORES, SAN ANDRÉS, SAN JOSÉ, SAN BENITO,  
JOBOMPICHE, SAN MIGUEL, EL REMATE Y EL CAOBA.”**

**SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN**

**PRESENTADO POR:**

**MAYRA CAROLINA OVALLE LEÓN**

**MARÍA JOSÉ OZAETA BURGOS**

**INGRID PAOLA DE PAZ REYES**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
QUÍMICAS BIÓLOGAS**

**GUATEMALA, FEBRERO 2021**

## **JUNTA DIRECTIVA**

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto	Decano
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Giovani Rafael Funes Tovar	Vocal IV
Br. Carol Merarí Caceros Castañeda	Vocal V
Licda. Miriam Roxana Marroquín Leiva	Secretaria

## **Acto que dedicamos**

- A DIOS** Por darnos la fe, fuerza y sabiduría necesaria para lograr esta meta.
- A NUESTROS PADRES** Por brindarnos su guía, apoyo y amor incondicional en cada paso dado.
- A NUESTROS HERMANOS** Por su constante apoyo y consejos.
- A NUESTROS FAMILIARES** Porque contar con su cariño y momentos compartidos han sido importantes en nuestras vidas.
- A NUESTROS COMPAÑEROS** Por las experiencias compartidas en la vida y carrera universitaria.
- A NUESTROS CATEDRÁTICOS** Por todas sus enseñanzas, enriquecimiento de nuestro conocimiento y formarnos como buenos profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser nuestra casa de estudios y formarnos como profesionales.

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Por acogernos a lo largo de todo este proceso y darnos las herramientas necesarias para nuestra vida profesional.

Al Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM)

Por su apoyo prestado durante el análisis de muestras de nuestra fase experimental.

A la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI)

Por su apoyo en la logística en la realización de las dos fases de muestreos en el lago de Petén Itzá.

A M.A. Anita Rodas de García

Por su paciencia, apoyo y asesoría durante la realización de nuestro seminario.

A MsC. Alba Marina Valdés de García

Por su orientación durante la revisión de nuestro trabajo de investigación.

## ÍNDICE

<b>I. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>2</b>
<b>III. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
A. Municipio de Flores	8
B. Municipio de San Benito	9
C. Municipio de San Andrés	9
D. Municipio de San José	10
E. Municipio de Santa Ana	10
F. Municipio de San Francisco	11
G. Calidad del agua	11
H. Calidad del agua del lago Petén Itzá	12
I. Parámetros fisicoquímicos	13
1. Color	13
2. Conductividad	14
3. pH o potencial del hidrógeno	14
4. Turbiedad	15
5. Salinidad	15
6. Sólidos disueltos totales (SDT)	15
7. Dureza total	15
8. Aluminio	16
9. Calcio	16
10. Cloro residual	16
11. Cobre	17
12. Cloruros	17
13. Hierro	18
14. Nitratos y nitritos	18

15. Magnesio	19
16. Manganeseo	19
17. Sulfatos	19
18. Zinc	20
J. Microorganismos indicadores de contaminación del agua	20
1. Coliformes totales	20
2. <i>Escherichia coli</i>	21
K. Aguas residuales	21
1. Aguas residuales domesticas o aguas negras	21
2. Aguas blancas	21
3. Aguas residuales industriales	22
4. Aguas residuales agrícolas	22
L. Tratamiento de aguas residuales	22
1. Lagunas de oxidación o estabilización	22
2. Lagunas anaerobias	23
3. Lagunas facultativas	24
4. Lagunas de maduración	24
<b>IV. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>V. OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
<b>VI. HIPÓTESIS</b>	<b>28</b>
<b>VII. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>29</b>
A. Universo y muestra de trabajo	29
1. Lugar	29
2. Universo	29
3. Muestra	29
4. Variable dependiente	29
5. Variable independiente	29
B. Recursos	29

1. Institucionales	29
2. Humanos	29
3. Otros	30
C. Materiales	30
1. Materiales	30
2. Equipo	30
3. Reactivos	31
D. Muestreo	32
E. Metodología	32
1. Análisis fisicoquímico	33
2. Análisis microbiológico	33
<b>VIII. RESULTADOS</b>	<b>34</b>
<b>IX. DISCUSION DE RESULTADOS</b>	<b>40</b>
<b>X. CONCLUSIONES</b>	<b>46</b>
<b>XI. RECOMENDACIONES</b>	<b>48</b>
<b>XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>49</b>
<b>XIII. ANEXOS</b>	<b>56</b>

## I. RESUMEN

El lago Petén Itzá es el cuerpo de agua de mayor relevancia en el departamento ubicado en la cuenca del mismo nombre. Se ha convertido en la principal fuente de agua para las actividades que se desarrollan a su alrededor, abastece a cuatro cabeceras municipales (Flores, San Benito, San Andrés y San José) y a un gran número de aldeas y caseríos situados en la cuenca de éste. Esta investigación tiene como objetivo la evaluación de la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de la cuenca del lago Petén Itzá, en ocho comunidades de Flores, San Andrés, San José, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba, al mismo tiempo determinar si el agua es sanitariamente segura para su uso.

Se realizaron dos muestreos, uno en época lluviosa y otro en época seca, recolectándose en cada uno 16 muestras, incluyendo pozos y grifos en diferentes localidades designadas al azar. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos (color, olor, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, turbiedad, pH, dureza total, hierro, calcio, magnesio, manganeso, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, aluminio, cinc, cobre) por espectrofotometría y bacteriológicos (coliformes totales y *Escherichia coli*) por el Método de Colilert, comparándose con límites recomendados por la Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones. Los resultados encontrados indicaron que los parámetros fisicoquímicos no conformes con los límites recomendados por la norma fueron: color, dureza y cloro residual. La mayoría de muestras evaluadas en ambas épocas correspondientes a bombas, pozos y grifos, están contaminadas con coliformes totales y *E. coli*, determinándose en base a los resultados que el 61.5% de las muestras de agua tomadas de grifos en ambas épocas de muestreo están contaminadas con coliformes totales y un 30.5% con *E. coli*, mientras que un 80.5% de muestras de agua extraídas de bombas y/o pozos están contaminadas con coliformes totales y un 49.5% con *E. coli*. De igual manera se determinó que la

calidad del agua del lago Petén Itzá se ve afectada por la turbiedad específicamente interfiriendo con la efectividad del cloro añadido a la red de distribución.

El agua obtenida directamente del lago Petén Itzá como fuente principal de abastecimiento de las ocho comunidades rodean la cuenca, no es sanitariamente segura para consumo humano, por lo que se recomienda no utilizar la misma directamente del lago Petén Itzá para consumo humano, informar a la población sobre las consecuencias de su uso, el continuo monitoreo e investigación que permita ampliar el estudio generando así más información que ayude a identificar las posibles fuentes de contaminación que contribuyan al deterioro de la calidad del agua.

## II. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

El lago Petén Itzá es el cuerpo de agua de mayor relevancia en el departamento ubicado en la cuenca del mismo nombre. Debido a las características geomorfológicas del lugar donde se encuentra, no posee drenaje superficial y la densidad de corrientes superficiales en sus alrededores es baja, convirtiendo al lago en la principal fuente de agua para las actividades que se desarrollan a su alrededor. Este cuerpo de agua superficial abastece a cuatro cabeceras municipales (Flores, San Benito, San Andrés y San José) y a un gran número de aldeas y caseríos situados en la cuenca de este lago (Salguero, 2009).

El objetivo de la presente investigación fue la evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de la cuenca del lago Petén Itzá en ocho comunidades de Flores, San Andrés, San José, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba para determinar si el agua es sanitariamente segura.

Para la evaluación del agua, se realizaron captaciones de muestras de agua en época seca y lluviosa, determinando la densidad poblacional de bacterias coliformes y *E. coli*, así como la cuantificación de parámetros fisicoquímicos, los que fueron comparados con los límites recomendados por la Norma COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones. Según la OMS se deben tomar muestras tanto de las fuentes de agua que llegan a la comunidad y la que entra en el sistema de distribución, por lo que los puntos de muestreo fueron; dos pozos para las comunidades de Flores y San Benito; para las comunidades de San José, San Andrés, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba, se tomó una muestra de las principales fuentes de abastecimiento o captación de agua dependiendo del caso en cada comunidad y una muestra al azar de un grifo de vivienda en cada una de las comunidades. El número de muestras fue de 16 en época seca y 16 en época lluviosa haciendo un total de 32 muestras.

### **III. ANTECEDENTES**

El departamento de Petén forma parte de las áreas donde se desarrolló el imperio Maya en las tierras bajas del sur hace unos tres mil años y que luego colapsó en el siglo IX A.D. Después del colapso, la población maya persistió en la región hasta que fue finalmente dominada por los conquistadores españoles en 1697 (Pérez, Alfaro, Palmieri, Dix, Maldonado, Islebe, Scharf y Schwalb, s.f.).

Desde el año 1697 cuando los españoles conquistaron a los Itzáes, hasta los primeros años de la década de los 60´, Petén fue un territorio escasamente poblado, olvidado por los principales centros sociales, políticos y comerciales, ya que los

españoles lo consideraron un lugar apropiado para la ganadería, permitiendo esto que proliferasen los recursos naturales (Méndez y Pinelo, 2008).

Los mayas llamaban Petenes a las islas del actual lago Petén Itzá, haciéndose el nombre extensivo más tarde a todo el territorio que abarca el departamento, traducándose también como “país llano o tierra plana”. Petén es considerado la cuna de la gran cultura maya y que contiene la única reserva territorial boscosa representativa que existe en Guatemala, es el más extenso considerado en el siglo pasado e inclusive en la primera década del presente como el pulmón de la biosfera maya (Mendoza, 2008).

Petén es el departamento más extenso del país representando el 33% del territorio nacional, está dividido administrativamente en 13 municipios, los cuales en su totalidad suman más de 810 comunidades; según los datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de los trece municipios que componen el departamento, el más extenso es el municipio de San Andrés y el más pequeño San Benito (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

El departamento de Petén limita al norte con la república de México, al sur con los departamentos de Izabal y Alta Verapaz, al este con la república de Belice y al oeste con la república de México. Se ubica en la latitud 16° 55' 45" y longitud 89° 53' 27". La cabecera departamental se encuentra a una altura de 127 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 506 kilómetros aproximadamente, de la ciudad capital (Mendoza, 2008).

Cuenta con una extensión territorial de 35,854 km<sup>2</sup>, que representa casi un tercio del territorio nacional, convirtiéndolo en el departamento más extenso de Guatemala, así como la entidad sub-nacional más grande de Centroamérica (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

El clima es de tipo tropical cálido y húmedo, caracterizado como tropical variable-húmedo, con época larga de lluvia, y con época seca desarrollada, pero de duración variable, entre diciembre/enero y abril/mayo. Las temperaturas máximas varían entre 28-38°C y las mínimas entre 17-23°C. En los meses de diciembre o

enero, hasta los meses de abril o mayo, se presenta una estación seca bien definida, los meses con menor precipitación son febrero, marzo y abril. La estación lluviosa principia entre los meses de mayo y junio, finalizando entre diciembre y enero, acentuándose entre septiembre y octubre, sin embargo, en esta época se presentan dos períodos cortos de sequía, conocidos como “canícula”: uno en el mes de julio y otro en agosto, los cuales duran entre 15 a 20 días (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

La precipitación lluviosa máxima es en los meses de junio y septiembre alcanzando un valor promedio de 215 mm (Mendoza, 2008). La variación en la magnitud de los picos está controlada por el paso de ciclones y tormentas tropicales por la región. Por otra parte, durante el período seco la precipitación es entre 20 y 70 mm por mes (Méndez y Pinelo, 2008).

La velocidad de los vientos que se registran, oscilan en velocidades entre 13 km/h y eventualmente de 75 km/h y tienden a variar conforme a las variaciones climáticas. Para el área urbana los vientos predominantes son de norte a sur y de este a oeste, siendo los del norte menores de 18.5 km/h (Mendoza, 2008).

La máxima humedad se registra en los meses de septiembre, octubre, noviembre y la mínima en los meses de marzo, abril y mayo. La evaporación a la intemperie es de 99 mm, es mínima en diciembre y enero, cuando la temperatura es más baja, y alcanza su valor máximo en mayo cuando la presencia de humedad en la atmósfera es mínima y la temperatura es máxima. A partir de junio la evaporación se reduce debido al decremento en temperatura y al aumento en la humedad relativa hasta alcanzar sus valores mínimos en diciembre y enero (Montoya, 2010).

El lago Petén Itzá es el cuerpo de agua de mayor relevancia en el departamento, se ubica en la cuenca del mismo nombre y pertenece a la cuenca mayor del río San Pedro. Se localiza en la vertiente que drena hacia el Golfo de México, colindante con la divisoria de aguas de la vertiente del Caribe. Se encuentra ubicado en los municipios de Flores, San Benito, San Andrés, San José. Posee

morfología asimétrica con elongación principal en dirección este-oeste, cubriendo una extensión de 111.53 km<sup>2</sup> (Salguero, 2009).

Está ubicado a 16°55´ N, 89°50´W. Su área superficial es de 100 km<sup>2</sup> y consta de una profundidad máxima de 165 m. La elevación del lago se encuentra a tan sólo 110 m.s.n.m. y se localiza en una región climáticamente sensitiva donde la precipitación es altamente estacional. El pH del agua es de aproximadamente 8.0, y presenta una concentración iónica baja dominada por calcio, magnesio, sulfato, bicarbonato y saturada de carbonato de calcio. Este lago ocupa la depresión cárstica más grande, es alimentado por agua subterránea y precipitación y carece de efluentes superficiales (Pérez, et al, 2010).

Los cambios de nivel de agua en los lagos son a menudo causados por cambios climáticos, es decir, cambios en la cantidad relativa de precipitación a evaporación. Tales alteraciones en el nivel del lago provocan cambios faunísticos que se conservan frecuentemente en sedimentos lacustres (Pérez, et al, 2010).

La cuenca del lago Petén Itzá ha sido históricamente uno de los centros más importantes de la dinámica social de la región, habitada hace miles de años hasta nuestros días. Los itzáes constituyeron la población dominante de Petén en los siglos XVI y XVII, vivían alrededor del lago grande conocido ahora como lago Petén Itzá. Su capital central era una isla en el lago, la cual se conocía como Noj Petén, en la actualidad es la Ciudad de Flores, cabecera del departamento. Hacia finales del siglo XVII, el núcleo del territorio Itzá abarcaba más de 40 km, este-oeste, desde la laguna El Sos, hacia el oeste, comprendiendo el lago Sacpuy y la región noroeste conocida como Chak'an Itzá y hacia el este en la zona del lago Quexil. El territorio centrado alrededor del brazo sur del lago estaba dispuesto en el núcleo de una forma de gobierno que incluía prácticas agrícolas (Méndez y Pinelo, 2008).

Se considera a la cuenca como la unidad básica por las características físicas del agua, los cuales generan un grado extremadamente alto, y en muchos casos imprevisible de interrelación e interdependencia (externalidades o efectos externos) entre los usos y usuarios de agua en una cuenca. Además, éstas dependen e interactúan en un proceso permanente y dinámico, el agua con los sistemas físico

(recursos naturales) y biótico (flora y fauna) y el sistema socioeconómico (usuarios de la cuenca) (Salguero, 2009).

La cuenca del Lago Petén Itzá cuenta con una superficie aproximada de 1,143 km<sup>2</sup>, se encuentra dentro de la Plataforma de Yucatán, es tributaria de la vertiente del Golfo de México y se ubica dentro de la cuenca del Río San Pedro, por lo tanto, es una subcuenca de la anteriormente mencionada (MANMUNI PETÉN ITZÁ, AMPI/MARN, SEGEPLAN, 2010).

La Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá –AMPI-, fue creada mediante el acuerdo gubernativo 697-2003, adscrita al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. AMPI ejerce el control de todas las acciones que se desarrollan en la cuenca del lago Petén Itzá. Según el artículo 2 del acuerdo gubernativo número 697-2003, AMPI tiene la finalidad de planificar, programar, coordinar y ejecutar todas las acciones del sector público privado, nacional o extranjero, necesarias para preservar, resguardar y desarrollar sosteniblemente la cuenca (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

Aunque parcialmente la cuenca forma parte de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM) ha sido degradada por diversas intervenciones antropogénicas. Existe una tendencia hacia el crecimiento urbano en la cuenca que no es proporcional a la capacidad de ordenamiento local, por lo que se hace necesaria la armonización del desarrollo urbano con la calidad ambiental de la cuenca (MANMUNI PETÉN ITZÁ, AMPI/MARN, SEGEPLAN, 2010).

La cuenca del lago Petén Itzá la constituyen seis municipios siendo éstos: Flores, San Benito, San José, San Andrés, Santa Ana y San Francisco. A los municipios de Flores y San Benito se les denomina el área central del departamento (Méndez y Pinelo, 2008).

#### **A. Municipio de Flores**

Fue fundada en 1697 por el general Martín de Urzúa Arismendi y en 1825 se concedió el título de Villa, poniéndole el nombre “Petén Itzá”, en 1831 se da a la cabecera del distrito de Petén el título Ciudad Flores. En 1986 se establece por

acuerdo gubernativo que la cabecera del departamento de Petén estará integrada por Ciudad Flores y Santa Elena de la Cruz (Mayorga, 2008).

Tiene una extensión territorial de 4,336 km<sup>2</sup> y consta de 30,897 habitantes. Se encuentra situada en la parte noreste del departamento de Petén a una latitud de 16°55'45" y en la longitud de 89°53'27". Limita al norte con México, al este el municipio de Melchor de Mencos, al suroeste la línea que constituye el límite actual entre el municipio de Flores con San Benito y San Andrés, al noroeste, el municipio de San José (Mendoza, 2008).

La Isla de Flores se considera el centro urbano más pequeño de todo el departamento y con alta densidad de población debido al atractivo turístico. (Mendoza, 2008).

Las comunidades del municipio de Flores que se encuentran en la cuenca del lago son Ciudad Flores, Santa Elena, San Miguel, El Arrozal, Paxcamán, Ixlú, El Remate, Macanché, El Ramonal, El Naranjo, Alta Mira, El Capulinar, Tres Naciones y El Limón (Méndez y Pinelo, 2008).

## **B. Municipio de San Benito**

Fue fundado primeramente con el nombre "San José de los Negros" en 1795, cuando los españoles trajeron esclavos provenientes del Caribe. Migración procedente de Belice trajeron imagen de San Benito de Palermo y lo proclamaron patrono del lugar. El 26 de enero de 1873, San Benito se estableció definitivamente como municipio, cuando los municipios vecinos ya habían establecido sus límites territoriales, ello incidió para que actualmente cuente con la menor extensión territorial (Municipalidad de San Benito, Petén, s. f).

Consta de una extensión territorial de 208 km<sup>2</sup> y una población de 51,913 habitantes. Se encuentra ubicado en el centro del departamento, limita al norte con San Andrés, al sur con San Francisco, al este con Flores y al oeste con la Libertad, se encuentra a 130 metros sobre el nivel del mar, es considerado el pulso vial y económico del departamento (Beltetón, 2008).

Las comunidades localizadas en la cuenca son San Antonio, Belén y La Cobanerita (Méndez y Pinelo, 2008).

### **C. Municipio de San Andrés**

Fundado en 1820 como municipio, y adoptado por el Código de Livingston y decretado el 27 de agosto de 1836, en el cual San Andrés, Petén, fue adscrito al circuito de Flores. Su nombre fue dado en honor al apóstol San Andrés (Cano, s.f).

Posee una extensión territorial de 8,874 km<sup>2</sup>, con una población de 20,295 habitantes. Limita al norte con el estado mexicano de Campeche, al sur con los municipios de Flores, San Benito y La Libertad, al este con el municipio de San José y al oeste con el estado mexicano de Tabasco (Méndez y Pinelo, 2008).

Una parte del territorio de San Andrés también se encuentra en la cuenca del lago Petén Itzá y por lo tanto también tiene importancia en relación con el Petén central. En el área de San Andrés, que corresponde a la cuenca, existen atractivos importantes como la diversidad de playas a inmediaciones de la comunidad (Méndez y Pinelo, 2008).

### **D. Municipio de San José**

Este municipio fue fundado en 1697 por el gobernador de Yucatán, don Martín Ursúa y Arismendi. Se declara como municipio en 1851 con el nombre que tiene hoy en día, distribuyéndose los grupos poblacionales en un 34% itzá, 25% quekchí y 41% ladinos (Vásquez, 2007).

El municipio de San José consta de una extensión territorial de 2,252 km<sup>2</sup>, con una población de 3,584 habitantes aproximadamente, considerándose uno de los municipios más grandes de Guatemala, su mayor extensión territorial se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Maya. Se localiza al norte del departamento de Petén. Los límites de este municipio han cambiado a través del tiempo por diversas razones políticas, entre ellas, por la creación del municipio de Melchor de Mencos. Por Acuerdo Gubernativo del 26 de abril de 1962 se estableció los siguientes límites: al norte colinda con México, al este y sur con el municipio de Flores y al oeste con el municipio de San Andrés. (Pinelo, s.f).

Las comunidades de este municipio localizadas en la cuenca del lago son la cabecera municipal, San Pedro y Jobompiche (Méndez y Pinelo, 2008).

### **E. Municipio de Santa Ana**

El municipio de Santa Ana fue fundado en 1708. La asamblea constituyente distribuyó los pueblos del Estado para la administración de justicia por el sistema de jurados, en el Decreto del 27 de agosto de 1838, fue así como Santa Ana quedó como cabecera municipal. El idioma predominante es el español, sin embargo, existen comunidades donde se habla el idioma itzá y kekchí (Mendoza, 2008).

Este municipio consta de una extensión territorial aproximada de 1,019 km<sup>2</sup> y 29,259 habitantes. Se encuentra a 21 km al sureste de Ciudad Flores, se interconecta con los municipios de San Francisco, San Benito y La Libertad. Colinda al norte con Flores, al este y sur con Dolores, al oeste con Sayaxché, San Francisco y San Benito. (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia – SEGEPLAN-, 2010).

Las comunidades que se localizan en la cuenca son: Purusilá y El Mango (Méndez y Pinelo, 2008).

### **F. Municipio de San Francisco**

Antiguamente era un pueblo llamado Chachaclún, el cual fue reconocido como municipio en el año 1828. A petición de los mismos habitantes del municipio, por medio del acuerdo de fecha 07 de octubre de 1927, la casa de gobierno autoriza el cambio de nombre de Chachaclún por el de San Francisco, en honor al Santo Patrono San Francisco de Asís (Estrada, 2007).

Este municipio es el segundo de menor tamaño, con una extensión territorial aproximada de 302 km<sup>2</sup> y reporta una población de 8,917 habitantes. Cuenta con sus límites consensuados con los municipios vecinos. Colinda al norte con San Benito y Flores, al este con el de Santa Ana, al sur con el de Sayaxché y al oeste con La Libertad. Tiene una altura de 220 metros sobre el nivel del mar (Cambranes, Góngora y Pinelo, s.f).

La única comunidad de San Francisco que se localiza dentro del área de la cuenca es el caserío Santa Cruz (Méndez y Pinelo, 2008).

### **G. Calidad del agua**

El lago Petén Itzá se encuentra rodeado de las comunidades de los municipios descritos anteriormente y funciona principalmente como fuente de agua para dichas comunidades.

Según norma COGUANOR NTG 29001: 2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones., la calidad de agua para consumo humano es aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor.

La calidad del agua de un ecosistema acuático natural tiene una connotación diferente a la requerida para usos domésticos, agrícolas o industriales. Las aguas contaminadas por las actividades industriales y domésticas pueden llegar a ser, con el tiempo, inapropiadas para el uso humano y animal. Las principales fuentes de contaminación son: por desechos industriales, por desechos e insumos de agricultura y por desechos domésticos. El arrastre de sedimentos por fuertes crecientes enturbia el agua y destruye el hábitat que sirve de refugio para muchos organismos, pero la contaminación provocada por el hombre, es la que está poniendo en peligro la vida en el agua por exceso de carga orgánica, presencia de sustancias tóxicas y metales pesados (Galindo, 2011).

Una de las principales formas de caracterizar un sistema acuático, es la determinación de su estado trófico (del griego Trofein = alimento) o estado de alimentación, el que determinará su productividad. El término eutrofización designa al proceso que presentan algunos sistemas acuáticos dado por el aumento del aporte de fósforo y nitrógeno desde la cuenca de drenaje, manifestándose en una intensa proliferación y acumulación excesiva de microalgas y plantas superiores; puede también ocasionar problemas en el suministro de agua potable por alteración de sus propiedades organolépticas (olor, sabor) y distintos trastornos en los

procesos de tratamiento de agua por disminución del contenido de oxígeno, acumulación de amoníaco y suspensión de ciertos metales (Olivos, 2010).

Otra definición corresponde al lento proceso natural dado por el aporte desde la cuenca de nutrientes a los sistemas acuáticos, el uso de fertilizantes, detergentes y el vertido directo de materia orgánica (Goyenola, 2007).

#### **H. Calidad del agua del Lago Petén Itzá**

Los niveles de contaminación del lago se producen por vertido de desechos sólidos y líquidos, niveles altos de deforestación, avance de la frontera agrícola, producción agrícola desordenada, pecuaria, contaminación del suelo, y agua, son algunos de los indicadores del deterioro ambiental de la cuenca (MANMUNI PETÉN ITZÁ, AMPI/MARN, SEGEPLAN, 2010).

Según estudio realizado en el 2004-2005, los niveles de nutrientes indican que el lago Petén Itzá presenta niveles de eutrofización, lo cual es confirmado por la presencia de organismos pertenecientes a géneros de fitoplancton. El análisis global de la contaminación en el lago indica que el agua de éste no es apta para consumo humano ni para propósitos recreativos, representando un riesgo para la salud humana por los altos niveles de contaminación bacteriológica (Oliva, 2005).

En estudio realizado en el 2011 se muestrearon cinco puntos poblados cercanos al lago (1. Desembocadura del río Ixlú; 2. frente a San Andrés; 3. Santa Elena; 4. San Benito; 5. San Miguel), obteniéndose niveles de contaminación altos por las poblaciones cercanas al lago que vierten aguas residuales domiciliarias, existencia de mal sistema de drenajes, descarga de materia fecal proveniente de humanos y animales hacia el lago durante todo el año, que contienen bacterias y virus mostrando que hay malas condiciones sanitarias en la calidad del agua.

El lago no cuenta con un canal fluvial que sirva de salida natural al reservorio. La salida natural de agua más obvia del lago es la evapotranspiración. La Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI), realiza monitoreo del lago Petén Itzá una vez cada mes para un total de doce monitoreos en el año, incluyendo en cada uno de éstos parámetros como: potencial

de hidrógeno pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de nitrato, nitrógeno total, y fósforo de ortofosfatos, teniendo todos resultados por debajo del límite máximo permisible que dicta la norma COGUANOR NTG 29001:2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones (AMPI, 2015).

## I. Parámetros fisicoquímicos

El presente estudio pretende evaluar los siguientes parámetros:

**1. Color:** Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. En la formación del color intervienen, factores como, el pH, temperatura, tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que se queda luego de que el agua ha sido filtrada. Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuesto químico como el alumbre y sulfato férrico a pH bajo. Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de la naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que éste haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a formación de compuestos dañinos a la salud (ALPHA, 1998).

**2. Conductividad:** Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, y en su casi totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes (Rigola, 1990).

El agua pura es mala conductora de la corriente eléctrica, mientras que las soluciones acuosas presentan buena conductividad, la cual está

determinada por la presencia de sales iónicas disueltas. Así, la conductividad de las soluciones resulta ser directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos en el agua. Por este motivo, las medidas de conductividad del agua se utilizan como parámetro para evaluar la cantidad de sólidos disueltos totales y la dureza del agua (López, Mirensky, Laconis y Broitman, s.f).

- 3. pH o potencial de hidrógeno:** Se define como el logaritmo negativo de la actividad molar de los iones hidrógeno en una solución, siendo un indicador de la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua, es decir, si un agua es más ácida o más básica. En disolución neutra el pH es igual a 7, en disolución ácida el pH es menor a 7 y en disolución alcalina es mayor a 7 (Pancorbo, 2011).

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, si puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5.0 y 9.0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua (Barrenechea, s.f).

- 4. Turbiedad:** Se mide por el índice de turbidez, que es función de las partículas en suspensión no disueltas, cuanto menor es el índice, más clara y de mejor calidad es el agua. La turbiedad es una de las cualidades del agua para valorar el buen estado físico-químico de los lagos, de las aguas costeras y de las aguas de transición (Aragón, 2014).

- 5. Salinidad:** Es una propiedad importante del agua industrial y natural. Es una 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 (Pensamiento, 2011).

**6. Sólidos disueltos totales (SDT):** Comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los SDT presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de SDT en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras. La presencia de concentraciones altas de éstos en el agua de consumo (superiores a 1,200 mg/L) puede resultar desagradable para los consumidores (OMS, 2003).

**7. Dureza total:** Debido a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a industriales (Pérez, León y Delgadillo, 2013).

Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud, pero se le asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado, está relacionada también con el pH y alcalinidad. La remoción de ésta en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda (Barrenechea, s.f).

**8. Aluminio:** El aluminio se produce en la corteza terrestre en combinación con silicio y oxígeno para formar feldespatos y minerales arcillosos. Los minerales más importantes son la bauxita y el corindón, que se utiliza como abrasivo. El aluminio y sus aleaciones se utilizan para intercambiadores de calor, piezas de aviones, materiales de construcción, contenedores, etc. El sulfato de aluminio y potasio, se utiliza en procesos de tratamiento

de agua para flocular partículas en suspensión, pero puede dejar un residuo de aluminio en el agua. La presencia de aluminio en aguas naturales está controlada por el pH y por una suspensión muy fina de partículas minerales, este no es esencial para plantas y animales (ALPHA, 1998).

**9. Calcio:** El ion calcio, forma sales generalmente poco solubles, en algunos casos de solubilidad moderada pero la mayoría son muy insolubles. En la naturaleza se encuentra como carbonato de calcio, está presente en muchos minerales como piedra caliza y el yeso. Es el principal componente de la dureza del agua (Pensamiento, 2011).

**10. Cloro residual:** Es el cloro presente en agua como ácido hipocloroso (HOCl) e iones hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). Reacciona rápidamente con amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado. Se presume que la toxicidad de las soluciones que contiene 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 (Pensamiento, 2011).

Si las pruebas indican ausencia de cloro residual en el agua potable, se considerará probable la contaminación bacteriana, salvo que los análisis bacteriológicos demuestren lo contrario (OPS, 2000).

**11. Cobre:** El cobre se encuentra en su estado natural, pero también se encuentra en muchos minerales, los más importantes son aquellos que contienen compuestos de sulfuro (por ejemplo, calcopirita), pero también aquellas con óxidos y carbonatos. El cobre es ampliamente utilizado en electricidad, cableado, techos, varias aleaciones, pigmentos, utensilios de cocina, tuberías y en la industria química. Las sales de cobre se utilizan en los sistemas de suministro de agua para controlar los crecimientos

biológicos en reservorios y tubos de distribución y para catalizar la oxidación del manganeso. El cobre forma una serie de complejos en aguas naturales ligados a compuestos inorgánicos y orgánicos. En un ambiente acuoso las especies más comunes son  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  y  $\text{CuHCO}_3^+$ . Corrosión de aleaciones que contienen cobre en tubería pueden introducir cantidades medibles de cobre en el agua en un sistema de tuberías. El cobre es considerado un oligoelemento esencial para plantas y animales. Algunos compuestos son tóxicos por ingestión o inhalación (ALPHA, 1998).

**12. Cloruros:** El cloruro presente en el agua para beber procede de las fuentes naturales, las aguas residuales, los efluentes industriales, la escorrentía urbana y de intrusiones salinas. Estos tienen un poder purgativo, pero se sabe que en muchos lugares se emplea agua con un contenido superior sin tener problemas de salud. Concentraciones elevadas de cloruros corroen los metales de los sistemas de distribución, especialmente en agua de escasa alcalinidad. La remoción de cloruros se logra por intercambio iónico, electrodiálisis u ósmosis inversa (Jiménez, 2001).

**13. Hierro:** Se encuentra en los minerales hematita, magnetita, taconita y pirita. Es ampliamente utilizado en aleaciones de acero y otras. La solubilidad del ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) está controlada por la concentración de carbonato. Porque en agua subterránea a menudo es anóxica, cualquier hierro soluble en el agua subterránea está generalmente en estado ferroso. En exposición al aire o la adición de oxidantes, el hierro ferroso se oxida al estado férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y puede hidrolizar para formar óxido férrico hidratado, insoluble, rojo. En ausencia de iones formadores de complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo (ALPHA, 1998).

**14. Nitratos y nitritos:** El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se le encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua. El ion nitrito es menos estable, muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que sólo se le encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación (Barrenechea, s.f).

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados (incluyendo el amoníaco), así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente los nitratos son solubles y no se adsorben a los componentes del suelo, por lo que son movilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (Albert, s.f).

**15. Magnesio:** Este corresponde aproximadamente a una tercera parte de la dureza total. Al igual que el calcio es un componente primordial de muchos minerales, tales como la dolomita, magnesita y muchas variedades de arcilla. Los iones disueltos en el agua forman depósitos en tuberías (Pensamiento, 2011).

**16. Manganeso:** El manganeso se asocia con minerales de hierro y se presenta en nódulos en el océano, en aguas dulces y suelos. Los minerales comunes son pirolusita ( $MnO_2$ ) y psilomelano. El manganeso se utiliza en aleaciones de acero, baterías y aditivos alimentarios. Las especies acuosas comunes son el  $Mn^{2+}$  reducido y el  $Mn^{4+}$  oxidado. En un ambiente acuoso la química del manganeso es similar a la del hierro. Como el agua subterránea es a menudo anóxica, generalmente se

encuentra en estado reducido ( $Mn^{2+}$ ). Tras la exposición al aire u otro oxidante, el agua subterránea que contiene manganeso generalmente precipitará  $MnO_2$  negro. Elevados niveles de manganeso, por lo tanto, pueden causar manchas en la plomería /lavandería y utensilios de cocina. Es considerado un oligoelemento esencial para plantas y animales (ALPHA, 1998).

**17. Sulfatos:** La medición del ion 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 responsable 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 hidrogeno en condiciones anaeróbicas (Pensamiento, 2011).

Los sulfatos junto con los cloruros, afectan el sabor del agua potable y, además le confieren un poder laxante. La concentración que provoca tales efectos varía en función de cada individuo, la presencia de otras sustancias y la aclimatación del consumidor. Los sulfatos no se remueven durante los procesos convencionales de tratamiento; al contrario, durante la potabilización con sales de aluminio incrementan su concentración. (Jiménez, 2001).

**18. Zinc:** La solubilidad del zinc en aguas naturales depende de adsorción sobre superficies minerales, el equilibrio de carbonatos y complejos orgánicos. El zinc se utiliza en una serie de aleaciones tales como latón y bronce, en baterías, fungicidas, y pigmentos. El zinc es esencial en el crecimiento para plantas y animales, pero a niveles elevados es tóxico para algunas especies de vida acuática. El zinc comúnmente ingresa al suministro de agua doméstica por deterioro del galvanizado de hierro y

deterioro de latón. En tales casos, el plomo y el cadmio también pueden estar presentes porque son impurezas del zinc utilizado en la galvanización. El zinc en el agua también puede resultar de la industria con la contaminación de residuos (ALPHA, 1998).

## **J. Microorganismos indicadores de contaminación del agua**

Según la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 Agua para consumo humano (*agua potable*) Especificaciones, indica que los parámetros para evaluar la calidad bacteriológica del agua es la determinación de indicadores sanitarios llamados Coliformes y *Escherichia coli*, ambos no deben ser detectables en 100 mL de agua.

**1. Coliformes totales:** Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a 35°C +/- 0.5°C en un período de 24-48 horas, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. Para el caso de la determinación del grupo de coliformes totales empleando el método de membrana de filtración, se define como todos los microorganismos que desarrollen una colonia rojiza con brillo metálico dorado en un medio tipo endo (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 horas a 35°C (COGUANOR, 2013).

**2. *Escherichia coli*:** es una bacteria coliforme de origen fecal que fermenta la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44°C o 44.5°C con producción de gas, y que también producen indol a partir de triptófano (COGUANOR, 2013).

## **K. Aguas residuales**

Se pueden definir como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Según su origen, las aguas residuales

resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de las actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Blazquez y Montero, 2010).

Se pueden definir también como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas dado que contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. Debido a la gran cantidad de sustancias pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo (Espigares y Pérez, s.f)

Se incluyen dentro de este concepto aguas de diversos orígenes (Espigares y Pérez, s.f):

- 1. Aguas residuales domésticas o aguas negras:** proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal, de cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, grasas.
- 2. Aguas blancas:** procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos.
- 3. Aguas residuales industriales:** proceden de procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
- 4. Aguas residuales agrícolas:** procedentes de labores agrícolas en zonas rurales, suelen participar de las aguas urbanas que se utilizan en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin tratamiento previo.

#### **L. Tratamiento de las aguas residuales**

Es el proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Flores, Santa Elena y San Benito, Petén, 2018).

**1. Lagunas de oxidación o estabilización:** Son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo, los costos de operación son bajos, se garantiza la remoción de la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno  $DBO_5$  y coliformes fecales con unidades de número más probable NMP/100 mL. Una laguna es básicamente una excavación, compactación y construcción de bordos, con el fin de almacenar agua residual por un tiempo determinado para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de algas y otros organismos. Se pueden clasificar en lagunas anaerobias, facultativas y de maduración o pulimiento (Cortés, Luévanos, Luévanos Rojas, Uranga, Ávila y González, 2011). Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de autopurificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. Los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua son (Comisión Nacional del Agua, 2007):

- Proceso natural de autodepuración
- Estabilización de materia orgánica se realiza mediante acción simbiótica de bacterias, algas y otros organismos superiores.
- Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida.
- Se realizan cambios químicos para mantener las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.

- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales.

**2. Lagunas anaerobias:** Son tanques excavados en la tierra que no poseen dispositivos mecánicos de aeración, sino que cuenta únicamente con una aeración natural. Se diseñan de menor tamaño y gran profundidad que evita la penetración de la luz y promueve el crecimiento de algas. Dentro de sus ventajas se pueden mencionar: bajo costo, capacidad de resistir altas concentraciones, adaptables para desechos industriales concentrados, se utiliza como tratamiento primario o primera depuración (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Flores, Santa Elena y San Benito, Petén, 2018).

Son el primer tipo de tratamiento para aguas residuales tienen profundidades entre 2 a 5 metros (Andrade y Peña, 2017). El tiempo de retención hidráulica de 3 a 6 días en el cual se da la digestión de materia orgánica. En este primer tratamiento se obtiene una demanda bioquímica de oxígeno mayor a 100 g (Sanchez & Matsumoto, 2013).

Presentan un buen desempeño en la remoción de  $DBO_5$  en un 60% a 20<sup>0</sup> C (Sanchez & Matsumoto, 2013). Se recomiendan profundidades entre 5 y 10 m, aunque algunos autores mencionan profundidades entre 2.5 a 5 m, dependiendo en que zonas se encuentren (Andrade y Peña, 2017).

**3. Lagunas facultativas** Reciben las aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaeróbica). Son diseñadas para remoción de  $DBO_5$  con base en una baja carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población algal activa. De este modo, las algas producen el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la  $DBO_5$  soluble (Sánchez, s.f).

Constan de dos zonas: una de descomposición aeróbica (oxidación) que es la que está en la parte superior del estanque y una zona de

descomposición anaeróbica (fermentación) que es la que se encuentra en el fondo debido a la acumulación excesiva de materia orgánica por sedimentación. Las zonas aeróbicas actúan como un filtro de gases, que son producto de la fermentación en el fondo de la laguna, no existiendo malos olores. Debe de haber un equilibrio entre dos tipos de microorganismos que actúan simbólicamente: las bacterias y las algas. Las bacterias son las responsables de la estabilización de la materia orgánica tomando su energía a partir del oxígeno que producen las algas como desecho de la fotosíntesis durante el día (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Flores, Santa Elena y San Benito, Petén, 2018).

El tiempo de retención hidráulica puede variar entre 15 a 45 días con profundidades de 1.5 a 2 m, (Andrade y Peña, 2017).

- 4. Lagunas de maduración:** Las lagunas de maduración son el paso terciario en el tratamiento de aguas residuales, su función se centra principalmente en la remoción de coliformes fecales presentes en las aguas para la reutilización adecuada, puede llegar a tener un porcentaje de rendimiento de 99.99% de remoción. Este tipo de lagunas son aeróbicas contienen una mayor diversidad de algas y bacterias, mejor penetración de luz solar, pH alto y una mayor concentración de oxígeno disuelto, su tiempo de retención es de 6 días (Andrade y Peña, 2017).

#### IV. JUSTIFICACIÓN

El agua es esencial para la vida, todos los seres humanos tienen derecho a un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible). Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud, (OMS, 2003). La población guatemalteca afronta la falta de agua potable y la escasa infraestructura que impide a amplios sectores de la población el acceso a sistemas de agua potable y saneamiento básico.

El lago Petén Itzá es el tercer lago más grande de Guatemala, el lago no solo es una importante fuente de ingresos económicos (turismo, recreación, pesca comercial o nutricional) sino también como abastecimiento de agua para consumo doméstico e irrigación (Galindo, 2011); esto ha generado un efecto de concentración de población en las cercanías de la cuenca del lago Petén Itzá, que ha aumentado aproximadamente 100,000 habitantes en los últimos 50 años, lo que ha causado un deterioro inmensurable de este recurso natural, siendo la contaminación una de las principales consecuencias (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, 2013).

El lago es una buena fuente de abastecimiento respecto a la cantidad pero no a la calidad, debido a esto surgió la necesidad de la realización de esta investigación, para determinar si los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos presentes en las diferentes fuentes provenientes de la cuenca lago Petén Itzá que abastecen a las 8 comunidades (Flores, San José, San Andrés, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba) cumplen con los requisitos recomendados en la Norma COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones, para ser aceptada como agua sanitariamente segura.

## V. OBJETIVOS

### Objetivo General

Evaluar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la cuenca del lago Petén Itzá para utilizarla como abastecimiento de agua en ocho comunidades.

### Objetivos Específicos

- Comparar los parámetros fisicoquímicos del agua de la cuenca del lago Petén Itzá con la Norma COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.
- Determinar la aceptabilidad de los parámetros fisicoquímicos presentes en el agua proveniente del Lago Petén Itzá como fuente principal para las comunidades de Flores, San Andrés, San José, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba.
- Comparar si el agua del lago Petén Itzá satisface los parámetros bacteriológicos propuestos por la Norma COGUANOR 29001 NTG 29001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.
- Cuantificación de coliformes totales y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación microbiológica del agua.
- Determinar de acuerdo a los resultados obtenidos si el agua puede ser considerada sanitariamente segura para consumo humano.
- Dar a conocer a autoridades competentes los resultados obtenidos en este estudio, así como las recomendaciones para que tomen las medidas que consideren adecuadas.

## **VI. HIPÓTESIS**

El agua captada de diferentes puntos del lago Petén Itzá como fuente principal de abastecimiento para las comunidades de Flores, San Andrés, San José, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba, cumple con los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos recomendados por la Norma COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Universo y muestra de trabajo

- 1. Lugar:** se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico en las comunidades de Flores, San José, San Andrés, San Benito, Jobompiche, San Miguel, El Remate y El Caoba que rodean el lago de Petén Itzá para determinar si cumplen con los requisitos de la regla COGUANOR NTG 29001 para agua potable.
- 2. Universo:** treinta y dos muestras divididas en dos muestreos: dieciséis muestras en época seca y dieciséis en época lluviosa.
- 3. Muestra:** por cada comunidad se recolectaron dos muestras de agua tomadas de un grifo de casa aleatoriamente y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada municipio instaladas en el lago (Anexo 1 y 2); en dos muestreos realizados en temporada lluviosa y temporada seca, teniendo un total de dieciséis muestras por cada muestreo.
- 4. Variable dependiente:** dos puntos de cada comunidad a muestrear.
- 5. Variable independiente:** temporada lluviosa y temporada seca.

### B. Recursos

#### 1. Institucionales

Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico –LAFYM-  
Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago  
Petén Itzá –AMPI-

#### 2. Humanos

M.A. Ana Rodas de García (Asesora)  
Lic. Gerson Renato Gabriel Ochaeta Constanza.  
Br. Mayra Carolina Ovalle León  
Br. María José Ozaeta Burgos  
Br. Ingrid Paola de Paz Reyes

### **3. Otros**

Transporte acuático

Transporte terrestre

**Diseño estadístico:** No probabilístico

## **C. Materiales**

### **1. Materiales**

- Frascos estériles de boca ancha con tapón de rosca.
- Pissetas
- Papel filtro
- Mascarillas
- Hieleras
- Hielo seco
- Marcadores
- Guantes estériles
- Alcohol
- Algodón
- Jeringas de plástico graduadas
- Recipientes de ensayos
- Cubetas de reacción
- Tubos de ensayo con rosca
- Bata
- Cofia
- Sellador de placas index
- Index Colilert

### **2. Equipo**

- Fotómetro
- Conductímetro
- Potenciómetro

- Pipeta volumétrica
- Cabina bacteriológica grado II
- Equipo sellador Quanta sealer-sellador
- Incubadora 35°C – 44°C
- Lámpara de luz ultravioleta de 5 voltios
- Termoreactor

### **3. Reactivos**

- Ácido sulfúrico
- Ácido Nítrico
- Ácido clorhídrico
- Magnesio nitrado hexahidratado
- Hidróxido de sodio
- Tiras indicadoras universales
- Kit Sulfato por turbidimetría en fotómetro
- Kit Nitratos por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Cloruros por espectrofotometría en fotómetro
- Kit de Aluminio por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Cloro residual por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Cinc por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Magnesio por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Manganeso por espectrofotometría en fotómetro
- Kit Calcio por valoración en bureta
- Kit Dureza total por valoración en bureta
- Kit fosfatos por espectrofotometría en fotómetro
- Kit nitritos por espectrofotometría en fotómetro
- Agua estéril
- Reactivo Colilert
- Bolsas Quanta tray 2000

## **D. Muestreo**

Los muestreos se realizaron en el mes de noviembre para temporada lluviosa y abril para temporada seca.

Las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico estériles de 500mL y transportadas al laboratorio LAFYM, antes de transcurrir 24 horas de recolección, en cadena de frío, para la realización de los análisis

## **E. Metodología**

Metodología de referencia APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater.

### **1. Análisis fisicoquímico**

- Determinación del Color, Método 2120, Escala de Platino Cobalto. Método espectrofotométrico.
- Determinación de la Turbiedad, Método 2130, Nefelométrico. Standard Methods.
- Determinación de la Conductividad eléctrica, Método 2510, Cuantificación con celda KCl of Standard Methods.
- Determinación del Potencial de Hidrógeno (pH), Método 4500-H<sup>+</sup>, Potenciométrico of Standard Methods.
- Determinación de Sólidos Totales Disueltos, Método 2540C, Cuantificación de partículas of Standard Methods.
- Determinación de Cloro libre residual, Método Spectroquant 1.00599.0001. 1500 Cl DPD Colorimétrico of Standard Methods EPA 330.5.
- Determinación de Cloruro, Método Spectroquant 1.14897.001. EPA 325 y 4500 of Standard Methods.
- Determinación de la Dureza Total, Método EDTA titrimétrico. Titulación EDTA titrimétrico.

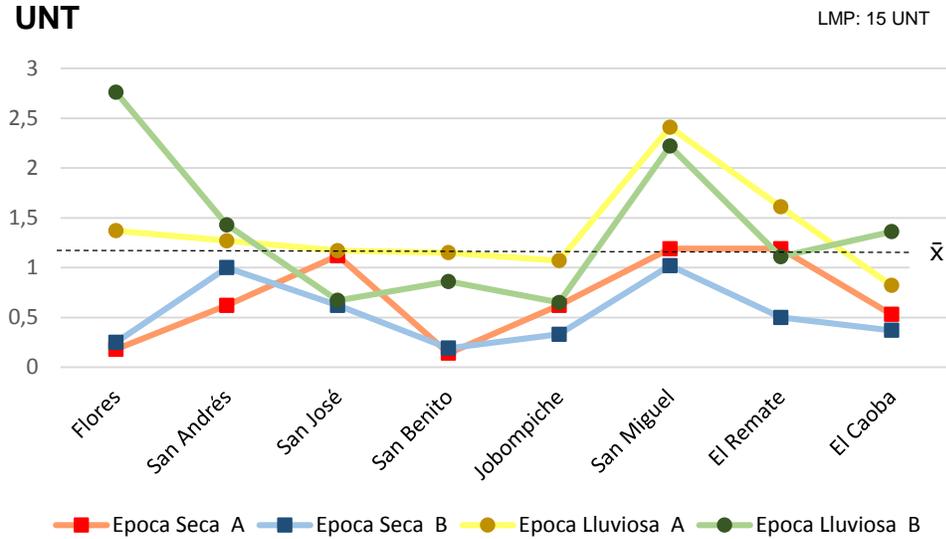
- Determinación de Sulfato, Método Colorimétrico tanino. 4500-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> of Standard Methods.
- Determinación de Aluminio, Método HATCH 8012. 3500- Al A. of Standard Methods.
- Determinación de Calcio, Método HATCH 8204. 3500 Ca Método EDTA Titrimétrico of Standard Methods.
- Determinación de Cinc, Método HATCH 8009 Zincón Spectroquant 1.14566.0001. 3500 Colorimétrico Piridilazoresorsina of Standard Methods.
- Determinación de Magnesio, Método de titulación con EDTA. 3500 Mg of Standard Methods.
- Determinación de Manganeso total, Método de Spectroquant 1.14770. 3500 Mg of Standard Methods.
- Determinación de Hierro, Método Spectroquant 1.14761.0001. 3500 of Standard Methods.
- Determinación de Nitratos, Método HATCH 8171 Reducción de Cadmio, Spectroquant 1.14653.0001. ISO 78901, 4500 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> of Standard Methods.
- Determinación de Nitritos, Método HATCH 8507 Diazotación, Spectroquant 1.14776.001. EPA 354.1 4500 of Standard Methods y EN 2677.
- Determinación de Cobre, Método Spectroquant 1.14414.0001 HATCH 8506. 3500-Cu 4500 N of Standard Methods.

## 2. Análisis microbiológico

Método de Colilert-18/Quanty tray. (ISO 9308-2:2012), método enzimático que detecta de forma simultánea los coliformes totales y *E. coli*. Cuando los coliformes totales metabolizan el nutriente indicador se produce un cambio de color, además *E. coli* emite una fluorescencia, la placa cuenta con 49 pozos grandes y 48 pozos pequeños, los resultados positivos se cuantifican y se comparan con Numero Mas Probable (Meta, 2018).

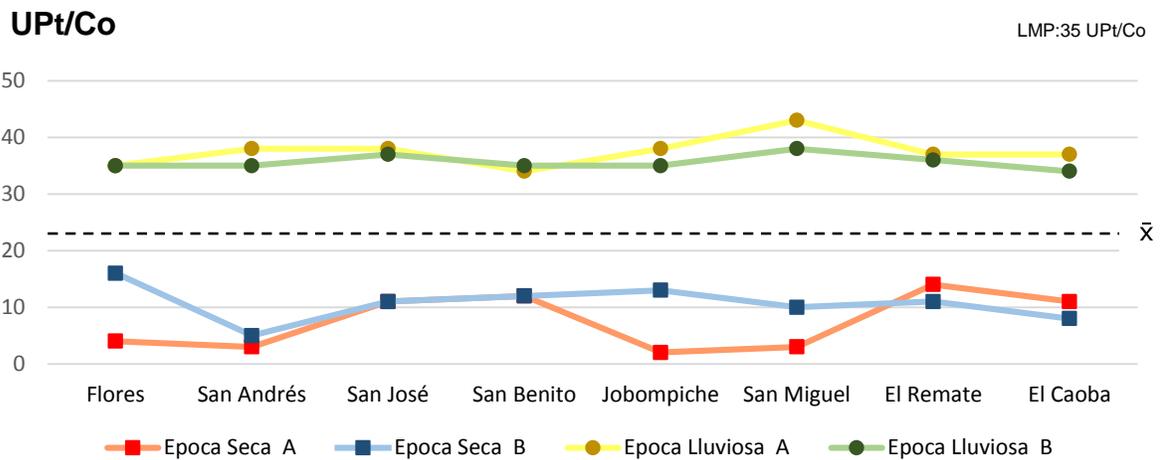
## VIII. RESULTADOS

**Gráfica 1.** Representación del parámetro de turbidez obtenidos de las muestras de agua de pozos y/o bombas y grifos en las ocho comunidades durante las dos épocas de muestreo.



\*A: Pozos y Bombas, \* B:Grifo de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible \*NT:unidades Nefelométricas de turbidez  
**Descripción:** se observa que ningún dato excede el límite máximo permisible , pero si hay un aumento en la época lluviosa ,<sup>1</sup>.  
**Fuente:** Datos experimentales.

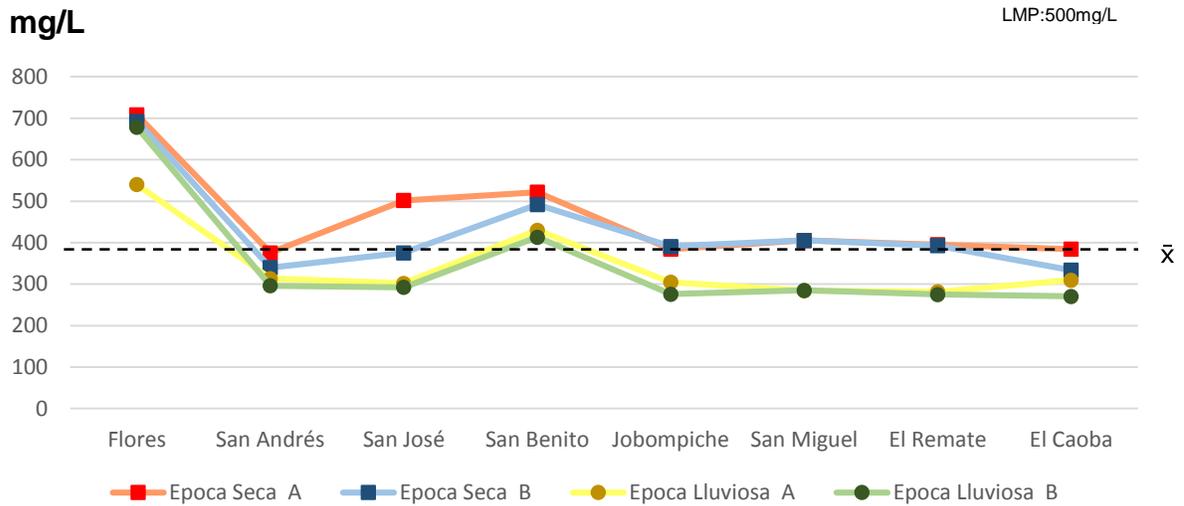
**Gráfica 2.** Representación del parámetro físico de color obtenidos de las muestras de agua de pozos y/o bombas y grifos en las ocho comunidades durante las dos épocas de muestreo.



\*A: Pozos y Bombas, \* B:Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible \* UPt/Co: Unidades de Platino -cobalto  
**Descripción:** En la gráfica 2 se observa un aumento considerable del color en la época lluviosa,<sup>1</sup>.  
**Fuente:** Datos experimentales.

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago.

**Gráfica 3.** Representación del parámetro fisicoquímico de dureza total obtenidos durante ambas épocas de muestreo

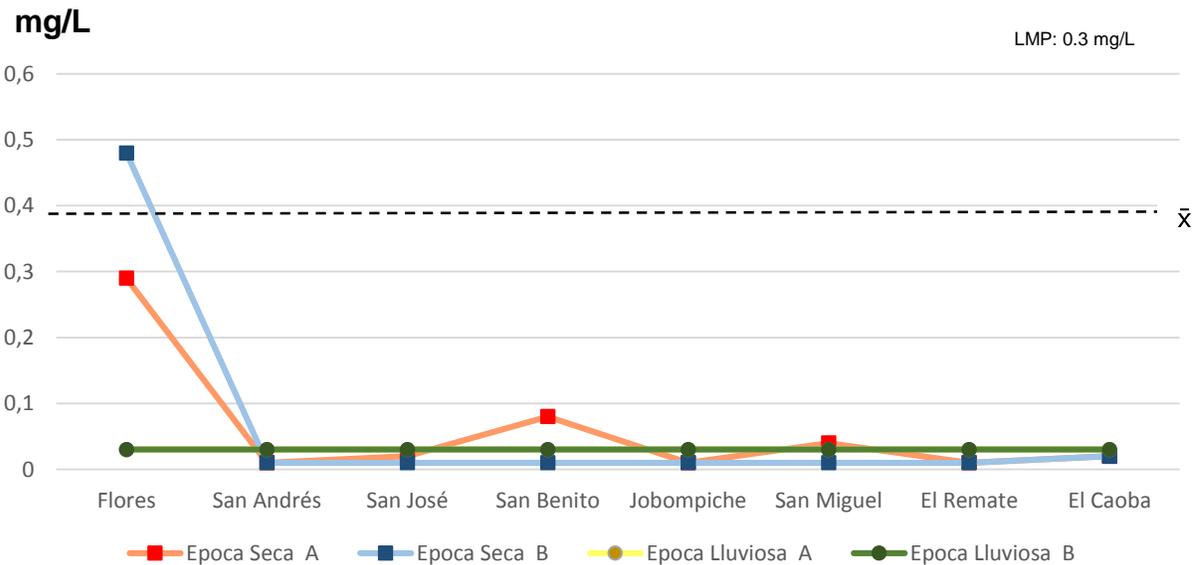


\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible

**Descripción:** En la gráfica 3 se observa que las muestras del área de Flores tienen valores elevados en ambas épocas del muestreo, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales.

**Gráfica 4.** Representación del parámetro fisicoquímico de hierro total obtenidos durante las dos épocas de muestreo en las ocho comunidades



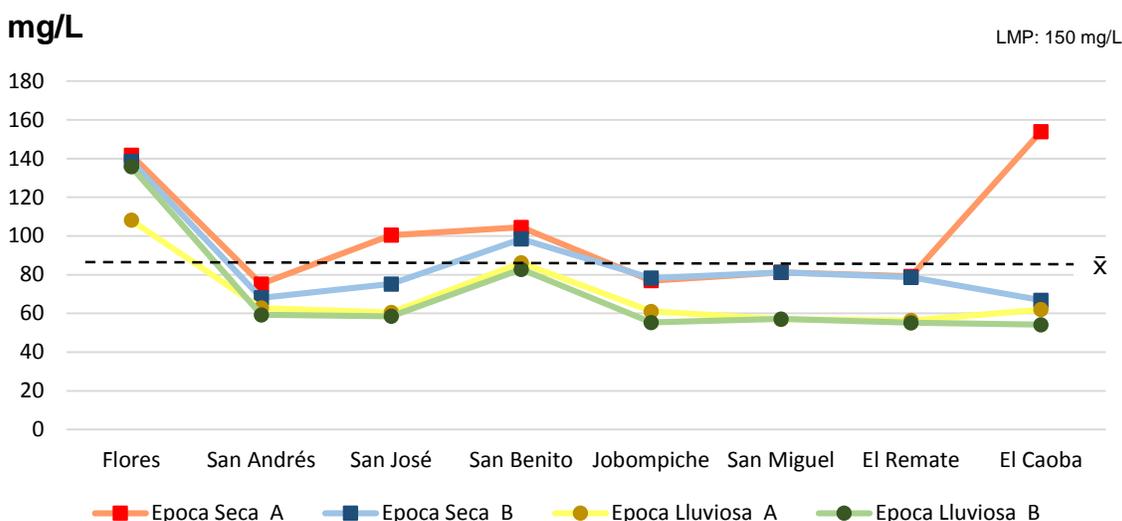
\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible

**Descripción:** En la gráfica 4 se observan valores elevados en durante la época lluviosa en el área de Flores, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales.

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago

**Gráfica 5.** Representación del parámetro fisicoquímico de calcio obtenidos de las muestras de agua de pozos y/o bombas y grifos en las ocho comunidades durante las dos épocas de muestreo.

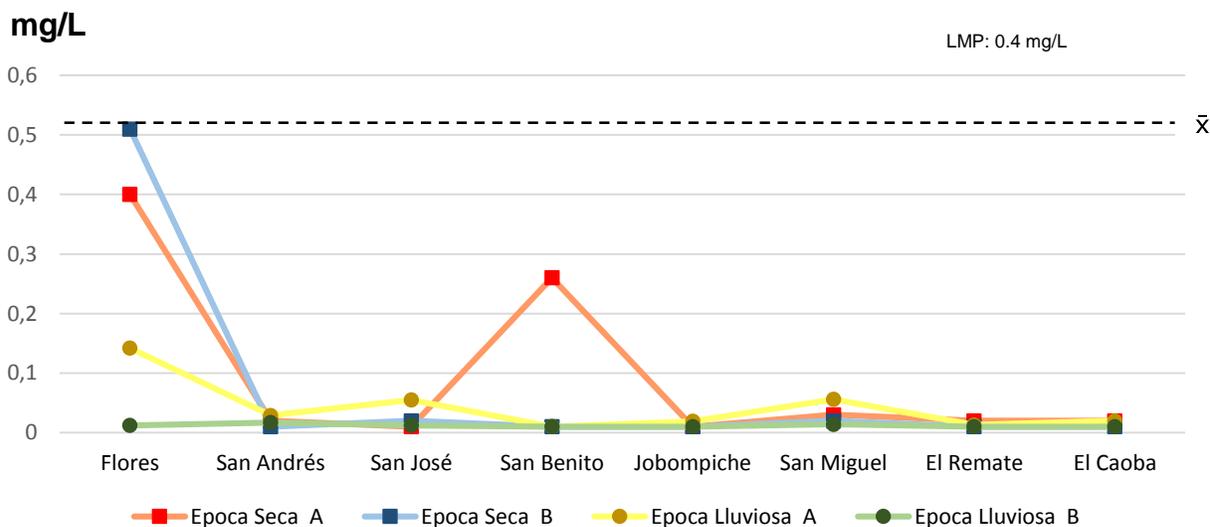


\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible

**Descripción:** En la gráfica 5 se indican los resultados donde solamente en la comunidad de El Caoba se observa fuera de los límites permisibles, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales.

**Gráfica 6.** Representación del parámetro fisicoquímico de manganeso obtenidos de las muestras de agua de pozos y/o bombas y grifos en las ocho comunidades durante las dos épocas de muestreo.



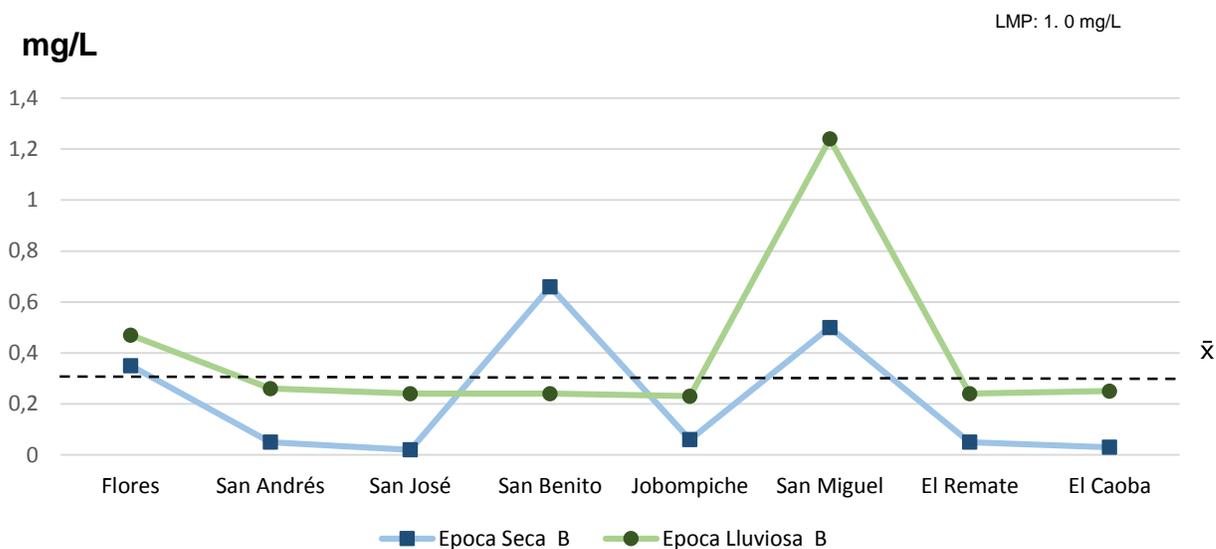
\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible

**Descripción:** Según gráfica 6 solamente en el área de Flores para ambas épocas y fuentes de muestreo se obtienen los valores más elevados, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales.

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago

**Gráfica 7.** Representación del parámetro fisicoquímico de cloro residual obtenidos de las muestras de agua de pozos y/o bombas y grifos en las ocho comunidades durante las dos épocas de muestreo.

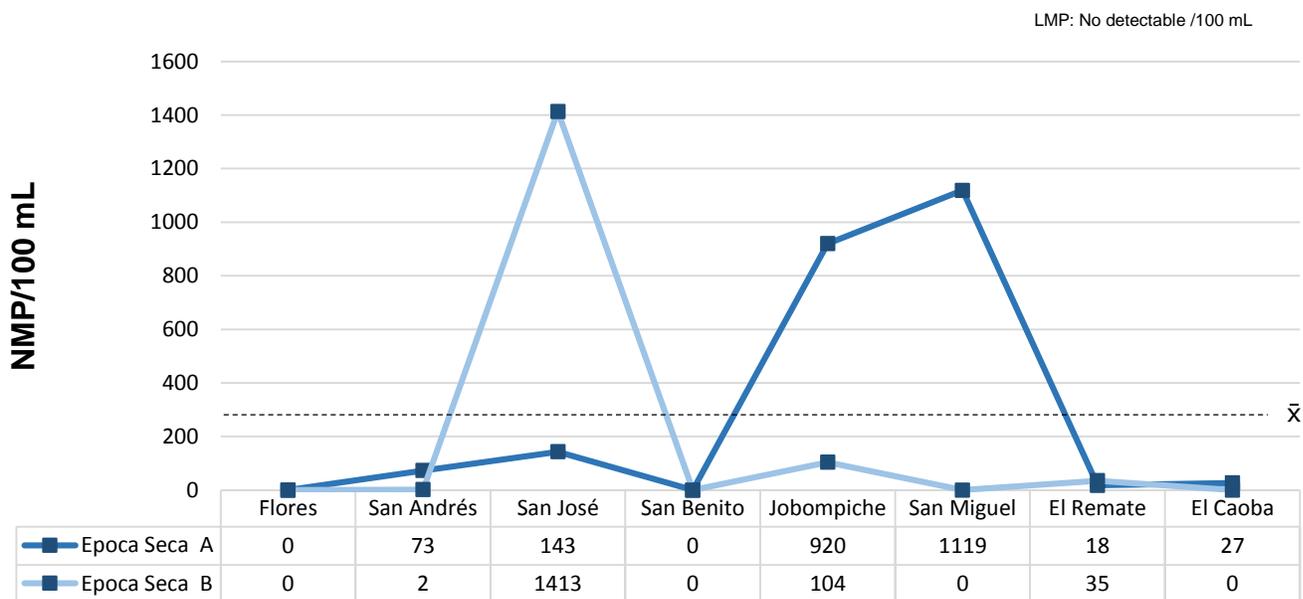


\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* LMP: Límite máximo permisible

**Descripción:** Se puede observar que la mayoría de muestras evaluadas están por debajo del límite aceptable y la correspondiente a la comunidad de San Miguel en época lluviosa está fuera del límite permisible, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales.

**Gráfica 8.** Resultados de la presencia de coliformes totales obtenidos en muestras de agua durante la época seca



\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* NMP: Número mas probable

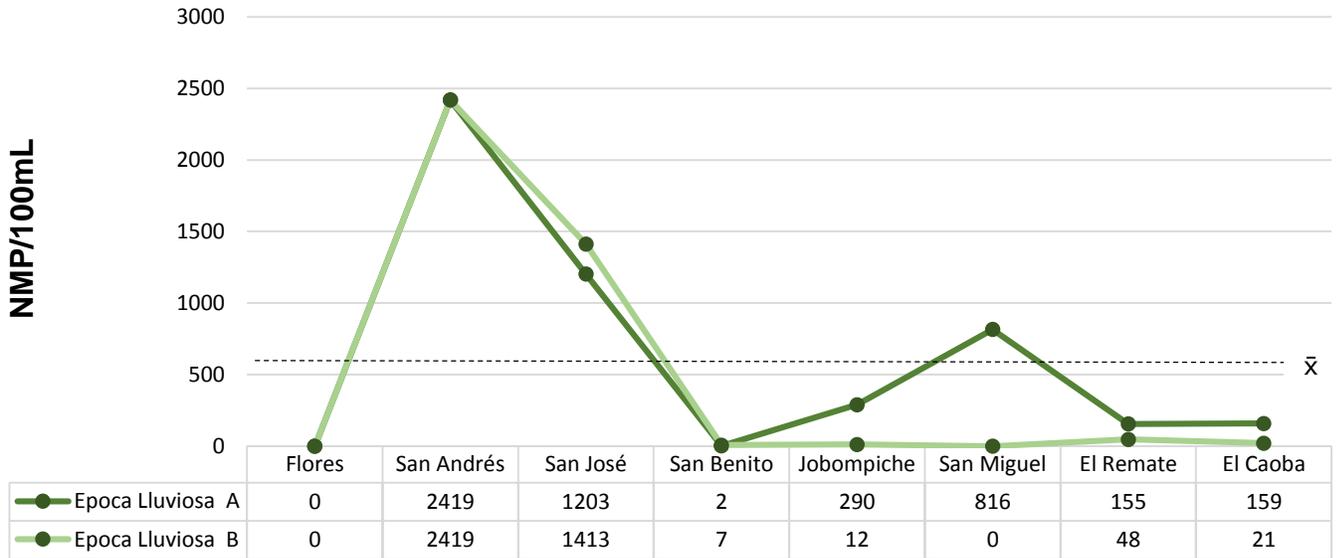
**Descripción:** Según resultados de gráfica 8 se puede observar que solo Flores y San Benito no presentaron coliformes totales, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago

**Gráfica 9.** Resultados de la presencia de coliformes totales en muestras de agua durante la época lluviosa

LMP: No detectable /100 mL



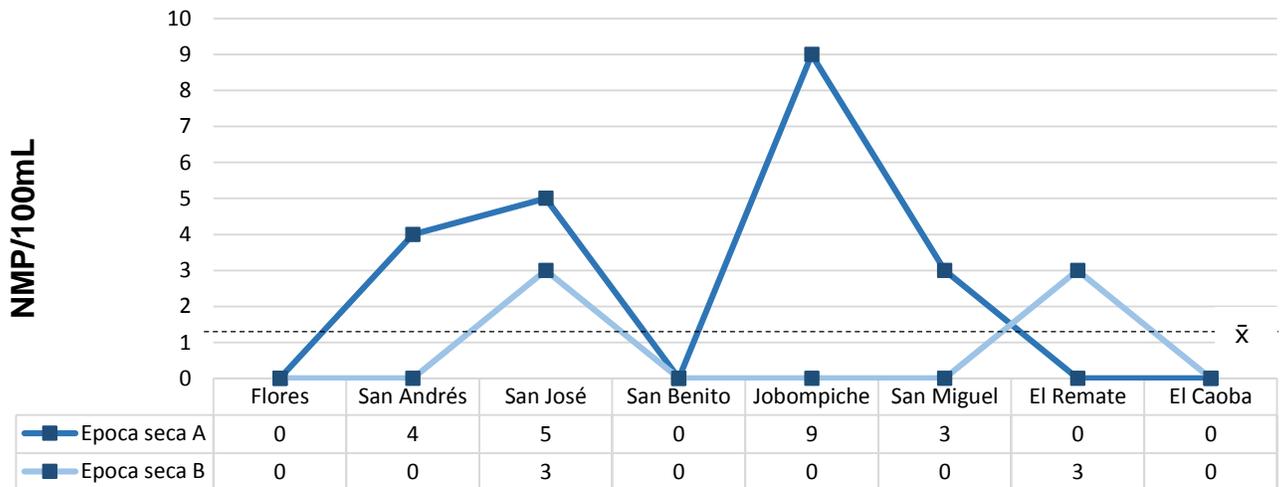
\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* NMP: Número mas probable

**Descripción:** Según la gráfica 9 se observa presencia de Coliformes totales aumentan en el chorro de San José y en San Andrés se mantienen iguales, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales

**Gráfica 10.** Resultados de presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua durante la época seca

LMP: No detectable /100 mL



\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* NMP: Número mas probable

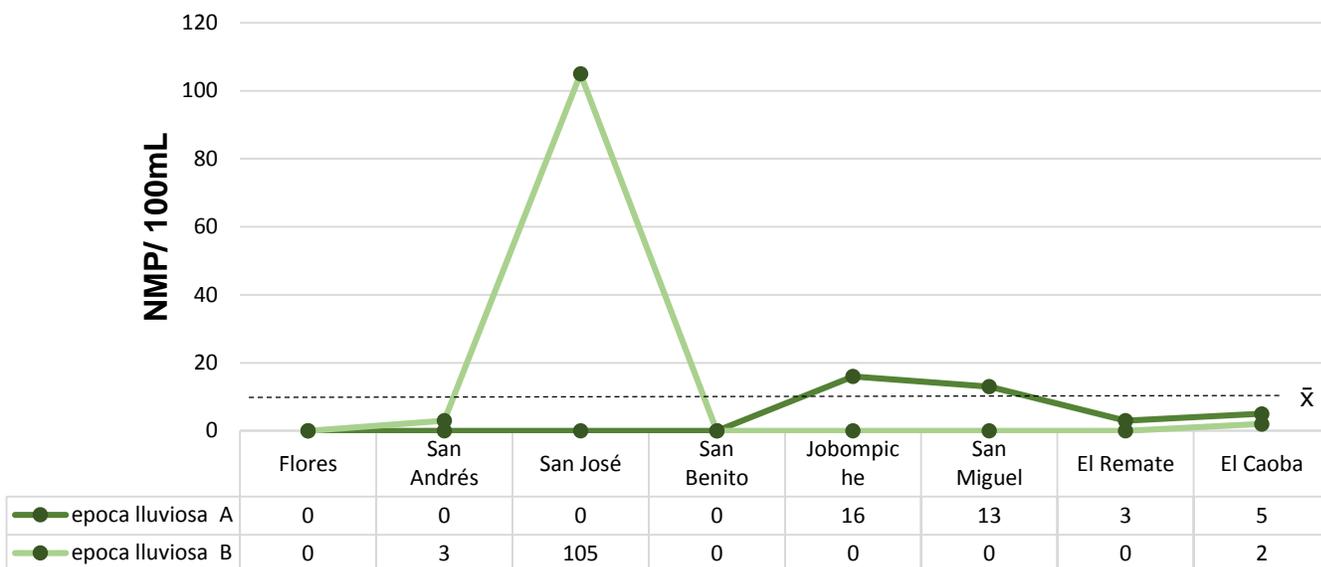
**Descripción:** Flores, San Benito y El Caoba son las 3 comunidades que con resultados negativos para *E. coli*, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago

**Gráfica 11.** Resultados de presencia de *Escherichia coli* en muestras de agua durante la época lluviosa

LMP: No detectable /100 mL



\*A: Pozos y Bombas, \* B: Grifos de viviendas, \* NMP: Número mas probable

**Descripción:** Flores y San Benito fueron las comunidades negativas para *E. coli* tanto en grifos como en bomba, <sup>1</sup>.

**Fuente:** Datos experimentales

<sup>1</sup> muestras tomadas de los grifos de cada vivienda conectados a red de distribución de cada comunidad, y otra lo más cercano posible al tubo de captación de las bombas de cada comunidad instaladas en el lago

## IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La calidad del agua se determina a partir de variables físicas, químicas y biológicas, que pueden ser evaluadas individualmente o en forma grupal, y aunque son una opción viable es necesario un constante monitoreo para la correcta interpretación de la calidad e inocuidad.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda la realización de muestreos tanto en época lluviosa como época seca, porque las diferencias climáticas pueden modificar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos; en este caso se evidenciaron los efectos de la lluvia en los resultados, al compararlos con los obtenidos en época seca, aunque algunos parámetros como la conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, pH, magnesio, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, aluminio, cinc y cobre mantienen prácticamente iguales sus valores, éstos se consideran aceptables al compararlos con los límites recomendados por la Norma COGUANOR NTG 29 001: 2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones (Anexos 3-6).

En nuestro estudio, el parámetro turbiedad, se encuentra dentro de los límites establecidos como aceptable, observándose un ligero aumento durante la época lluviosa (Gráfica 1), probablemente debido a la presencia de partículas de suelo suspendidas en agua causada por la erosión, descargas directas y escorrentía urbana (González, 2011).

El parámetro físico del color determinado en nuestro estudio aumentó durante la época lluviosa (Gráfica 2) en todos los puntos de muestreo, los cuales sobrepasan el LMP (límite máximo permisible) a excepción del pozo de San Benito y chorro de El Caoba los cuales tienen valores de 34 UPt/Co (Unidades Platino/Cobalto) cada uno, siendo éstos muy cercanos al LMP.

Es importante mencionar que, el color del agua se debe fundamentalmente a diferentes sustancias existentes en suspensión o disueltas en ella. En aguas naturales, el color proviene de numerosas materias orgánicas procedentes de

descomposición de vegetales, diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas mostrando una coloración amarillenta (Universidad de Jaén, 2014). El aumento de color en temporada lluviosa se debe proporcionalmente al proceso de eutrofización, que le da la tonalidad verdosa (Oliva, 2005) y al aumento en la contaminación del agua del lago, provocado por la escorrentía de agua de lluvia. Éste es uno de los problemas ambientales más importantes en las áreas urbanas provocando que diferentes materiales contaminantes se desprenden sobre la superficie por acción de la lluvia (Gerena y Mora, 2017). Es importante mencionar que no existe una relación directa entre color y grado de contaminación, debido a que es un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, lo cual dificulta su evaluación absoluta (Aznar, 2000). Dado a que no hubo diferencia significativa en los valores obtenidos entre grifos y pozos de temporada lluviosa, se presume que el aumento de color se debe principalmente, al proceso de eutrofización y contaminación que genera la escorrentía de agua de lluvia hacia el lago.

La dureza del agua proviene principalmente del suelo por factores geológicos como calcio, magnesio, estroncio, hierro, manganeso, bario y otros iones polivalentes. El agua con niveles de dureza superiores a los límites aceptables puede causar la aparición de incrustaciones en los sistemas de distribución tanto domésticos como industriales produciéndose principalmente por descomposición térmica de bicarbonatos de calcio y magnesio solubles en agua, formándose una costra incrustada en las paredes de las tuberías (Neira, 2006).

En nuestro estudio los resultados de dureza total, hierro, calcio y manganeso que se encuentran fuera del LMP, en aguas de grifos y pozos en ambas épocas de muestreo se obtuvieron únicamente en la comunidad de Flores (Gráfica 3 -6), en tanto que, en San José y San Benito se encontraron fuera del LMP en los pozos durante la época seca, esto se debe posiblemente a la corrosión de los materiales de las tuberías, lo cual se evidenció al comparar los resultados obtenidos de las muestras recolectadas directamente del lago, porque éstas no presentaban niveles altos de hierro y manganeso.

Las concentraciones elevadas de hierro y manganeso pueden causar problemas en el uso del agua, modificando las características organolépticas como sabor, olor y color indeseable, incrustaciones en tuberías, manchas en lozas y otros; no son asociados a intoxicaciones, sin embargo, el consumo excesivo de hierro en la dieta puede causar enfermedades en el ser humano (Toxqui, 2010).

Durante la mezcla térmica de aguas del lago (época lluviosa) los niveles de manganeso total en toda la columna de agua son bajos, ya que el medio está suficientemente aireado. En aguas profundas desoxigenadas que se encuentran durante la estratificación térmica (verano), sus concentraciones se incrementan notablemente, debido a la redisolución en ambiente reductor de compuestos oxidados de manganeso presentes en el lodo y sedimentos sólidos del fondo (Pérez, 2016). Por esta razón las muestras tomadas directamente del lago presentan rangos normales de manganeso de datos obtenidos en el estudio.

El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua limpia en cantidad suficiente, destruye la mayoría de los organismos causantes de enfermedades, sin poner en peligro a las personas. Sin embargo, el cloro se consume a medida que los organismos se destruyen. Si se analiza el agua y se encuentra que todavía existe cloro libre en ella, se comprueba que la mayoría de los organismos patógenos ya fueron eliminados del agua y, por lo tanto, es seguro consumirla (medición de cloro residual) (OMS, 2009).

El método de cloración se utiliza en las ocho comunidades como único sistema de desinfección y tratamiento del agua, debido su accesibilidad y poder oxidante en la destrucción de las materias orgánicas y también para eliminar sustancias como magnesio y hierro que pueden alterar el sabor del agua. Por ser éste un parámetro indicador de desinfección de agua su incumplimiento no determina si es o no apta para consumo. Los valores máximos permitidos por la norma se encuentran entre 0.5 y 1 mg/L, sin embargo, no siempre los valores más elevados o ajustados al rango logran garantizar una desinfección del agua suficiente para la eliminación de los patógenos en diferentes tramos del sistema de suministro.

Por lo que es necesario considerar los resultados de las demás características como la turbiedad y el color que pueden interferir con la efectividad del cloro (Guzmán, Nava y Bevilacqua, 2015).

Los niveles inferiores de cloro a 0.5 mg/L pueden permitir la proliferación bacteriana, en nuestro estudio, se observó que en la mayoría de muestras de agua de grifos analizadas en ambas épocas (Gráfica 7), el parámetro del cloro residual medido, cumple los límites aceptables para considerarla apta para consumo humano según Norma COGUANOR NTG 29 001; 2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.

También se observó que, sólo una muestra excede el límite máximo de cloro en agua de grifo perteneciente a la comunidad de San Miguel, tomado en época lluviosa. La razón es que el muestreo se realizó durante los primeros días del mes, y según la calendarización de las autoridades encargadas del mantenimiento de los tanques de distribución del agua en la comunidad, la desinfección con cloro se realiza los primeros días de cada mes. Por eso es necesario que la cloración se realice constantemente asegurando que dicho parámetro se encuentre dentro de los límites recomendados.

En el caso de las comunidades de San Andrés, San José, Jobompiche y El Remate, los resultados obtenidos se encuentran con niveles de cloro residual son menores a 0.5 mg/L durante la época seca, por lo que se asume que a la fuente hídrica utilizada no se le añade la cantidad adecuada de cloro, por lo que el agua no esté debidamente desinfectada.

Según los valores obtenidos la determinación de cloro residual y los resultados de los análisis bacteriológicos indican que hay factores que pueden influenciar en la eficacia desinfectante del cloro, por ejemplo: la turbiedad del agua, la demanda de cloro, la variación climática, la densidad inicial de coliformes, la dosificación adecuada de cloro y el tiempo de contacto del agua con el cloro (OMS, 2006).

La calidad microbiológica del agua se determina en función de la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal como son el grupo de coliformes totales y *E. coli* (Anexos 7-8). Éstos constituyen un grupo de bacterias heterogéneas que viven principalmente en el intestino y pertenecen a la familia Enterobacteriaceae. Dentro de este grupo de bacterias se encuentra *Escherichia coli*, la cual es de gran importancia porque se ha asociado directamente a contaminación fecal y riesgo sanitario (Rojas, Muñoz, Sosa y Baqueiro, 2016).

En los resultados bacteriológicos obtenidos de las muestras de agua se observó el aumento de carga de coliformes totales y *E. coli* durante la época lluviosa (Gráficas 8-11), lo cual se le puede atribuir al aumento del caudal de agua, que acarrea mayor concentración de sedimentos y desechos contaminantes. Estos resultados se relacionan directamente con el aumento en la turbiedad del agua en época lluviosa, pues los elevados niveles de turbidez protegen a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimulan la proliferación de bacterias y aumentan la demanda de cloro.

Es importante determinar si la cantidad de cloro añadida en esta época es suficiente, debido a que se observó que en la mayoría de muestras recolectas no se logra destruir los patógenos y bacterias fecales aglomeradas o absorbidas en las partículas, dando como resultado el aumento de carga bacteriana en el lago (Marcó, et al., 2014).

Aunque se espera que en las muestras de agua obtenidas de los grifos después del tratamiento de cloración, se haya disminuido o eliminado por completo la carga bacteriana, se observó que no es suprimida totalmente. Por lo que es necesario una verificación del tratamiento de cloración utilizado en cada comunidad, y determinar la cantidad de cloro que debe añadirse a los tanques de distribución para un correcto procedimiento de desinfección en ambas épocas.

Las muestras de agua de la comunidad de Flores presentaron resultados negativos para coliformes totales y *E. coli* en ambas épocas; porque el agua extraída de pozos es llevada a tanques de distribución los cuales son debidamente clorinados. En San Benito también se utiliza el agua de pozos, sin embargo, el

mecanismo de desinfección puede ser no el adecuado porque en época lluviosa se obtuvieron coliformes totales de las muestras de agua recolectadas de los grifos.

El otro parámetro evaluado fue la presencia de *E.coli* (Gráficas 10-11), presentándose positivas en el 49.5% de las muestras evaluadas de bombas y en menor cantidad (30.5%) provenientes de grifos para ambas épocas de estudio.

En San José, durante la época lluviosa hay un incremento (Gráfica 11), el cual se puede atribuir directamente a la contaminación de *E. coli* a la tubería porque comparándola con la muestra de agua correspondiente a la bomba dio un resultado negativo.

La presencia de microorganismos indicadores de contaminación bacteriológica en las comunidades que forman la cuenca del lago Petén Itzá, representan un riesgo para la salud del ser humano, ya que en lugares como San José, Jobompiche, El Remate, San Andrés, El Caoba y San Miguel utilizan agua del lago, la cual se almacena en tanques receptores donde se agrega cloro para posteriormente ser distribuida a la población; esta información fue recopilada por entrevista con pobladores de las comunidades. La ausencia de desinfección en el agua puede incrementar la posibilidad de brotes de enfermedades transmitidas por vía feco-oral, lo cual representa un riesgo sanitario para la población.

En base a resultados obtenidos en el análisis bacteriológico de las 32 muestras de agua, se rechaza la hipótesis planteada, debido a que sólo el suministro de agua correspondiente a la comunidad de Flores, cumple con los requisitos establecidos en la Norma COGUANOR 29 001:2013. Agua para consumo humano (*agua potable*) Especificaciones. Se puede inferir que el agua que proviene del lago no debe ser utilizada directamente como abastecimiento de agua potable para las comunidades descritas anteriormente ni para recreación de la población departamental, por no considerarse sanitariamente segura para consumo humano.

## X. CONCLUSIONES

- El color de las muestras de agua analizadas tomadas en todas las comunidades, aumentó en la época lluviosa sobrepasando los límites máximos permisibles según Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones, causado por la escorrentía y el proceso de eutrofización que se produce en esta temporada.
- La determinación de cloro residual evaluada en las diferentes muestras de agua captadas durante la época lluviosa en la comunidad de San Miguel, presentan concentraciones más altas en comparación con los límites recomendados en la Norma COGUANOR NTG 29 001: 2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.
- El agua distribuida en la comunidad de Flores tiene valores de dureza total fuera los límites máximos permisibles según Norma COGUANOR NTG 29 001:2013. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones., posiblemente se debe al arrastre de residuos de los depósitos calcáreos que están sedimentados en las tuberías.
- El agua de grifos y pozos de la comunidad de Flores es la única fuente de distribución sanitariamente segura para consumo humano.
- El agua para consumo humano que proviene del lago Petén Itzá, evaluada durante ambas épocas de estudio no satisface los parámetros bacteriológicos recomendados por la Norma COGUANOR NTG 29 001. Agua para consumo humano (*agua potable*). Especificaciones.
- Se determinó que el 80.5% de muestras de agua evaluadas en el estudio en ambas épocas, correspondientes a bombas y pozos, se encuentran

contaminadas con coliformes totales y 49.5% de las mismas tienen presencia de *E. coli*.

- Se determinó que 61.5% de las muestras de agua tomadas de grifos analizadas en ambas épocas de muestreo, presentaron contaminación por coliformes totales y contaminación por *E. coli* en un 30.5%.
- El agua obtenida directamente del lago Petén Itzá como fuente principal de abastecimiento de los ocho municipios que rodean la cuenca no es considerada sanitariamente segura para consumo humano.
- En la época lluviosa la calidad del agua del lago Petén Itzá se ve afectada por la turbiedad específicamente lo cual interfiere con la efectividad del cloro que se añade a la red de distribución.

## XI. RECOMENDACIONES

- No utilizar el agua directamente del lago Petén Itzá para consumo humano por la presencia de coliformes totales y *E. coli*.
- Dar a conocer a las entidades gubernamentales y programas que tienen a cargo el manejo del lago Petén Itzá, mediante la presentación de un informe de los resultados obtenidos en el estudio, para que tomen las medidas necesarias y continúen estudios para mejorar la calidad del agua del lago.
- Se recomienda a las autoridades competentes implementar o mejorar un sistema de cloración que sea efectivo a las diferencias climáticas y necesidades poblacionales.
- Se sugiere a las municipalidades de las ocho comunidades la educación a su población sobre la aceptabilidad de sistemas de drenaje y disposición de basura, que contribuyan al manejo de descargas de aguas residuales al lago, reduciendo de esta manera la contaminación del mismo.
- Se recomienda a las autoridades municipales la implementación de análisis bacteriológicos constantes que ayuden a tener un mejor control sobre la calidad de agua que utiliza la población.
- Que la comunidad científica continúe realizando monitoreos e investigaciones en el lago Petén Itzá, generando más permita generar más información sobre posibles fuentes de contaminación, para que puedan contrarrestarse a corto y mediano plazo, favoreciendo la preservación de la flora y fauna de este cuerpo de agua, en beneficio de las comunidades a su alrededor.

## XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, L. (s.f). Capítulo 17: Nitratos y nitritos. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a17.pdf>
- APHA (1998). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Assotiation, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> ed. Washington.
- Andrade, F. y Peña, M. (2017). Optimización Energetica de la Lagunas Aireadas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba. *Universidad de Cuenca, Colombia* , 30-35.
- Aragón, J. (2014). Transparencia y colores de las aguas. Recuperado de <https://fnca.eu/images/documentos/DOCUMENTOS/Jos%C3%A9%20R.Arag%C3%B3n.pdf>
- Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá (AMPI). 2015. Evaluación de la calidad de agua del lago Petén Itzá y cuerpos de agua de su cuenca hidrológica. AMPI/MARN. Guatemala.
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*. Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Barrenechea, A. (s.f). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Beltetón, M. (2008). Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión: Administración del riesgo (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Blazquez, P. y Montero, C. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca planta tercera cuenca. Argentina: Universidad Tecnológica Nación

- Cambranes, C., Góngora, E. y Pinelo, M. (s.f). Monografía de San Francisco Petén [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/27013958/Monografia-San-Francisco-Peten>
- Cano, A. (s.f). Monografía San Andrés, Petén [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/27015421/Monografia-San-Andres-Peten>
- Cano, F. (s.f). Aspectos sobre la calidad microbiológica del agua para consumo humano. Recuperado de <http://colmedegua.org/web/wp-content/uploads/2017/03/CALIDAD-DE-AGUA.pdf>
- Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. (2013). Norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29001: Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones. Recuperado de <http://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/04-COGUANOR-NTG-29-001-1a-Revision.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cortés, F., Luévanos, A., Luévanos Rojas, R., Uranga, A, Ávila, C y González, J. (2011). Diseño de lagunas de estabilización en serie con diferentes configuraciones (Caso Comarca Lagunera Estado de Durango, México). *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 5(3).
- Doizer, M. y McFarland, M. (2004). Drinking Water Problems: Iron and Manganese. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/26904639\\_Drinking\\_Water\\_Problems\\_Iron\\_and\\_Manganese](https://www.researchgate.net/publication/26904639_Drinking_Water_Problems_Iron_and_Manganese)
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Flores, Santa Elena y San Benito, Petén. (2018). Sistema de alcantarillado sanitario. Petén, Guatemala.

- Espigares, M. y Pérez, J. (s.f). Aguas residuales: composición. Recuperado de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Estrada, D. (2007). Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Galindo, C. (2011). Indicadores de contaminación en tres lagos de Guatemala (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Gerena, J. y Mora, M. (2017) Evaluación de parámetros fisicoquímicos en agua lluvia de escorrentía en tres puntos con tipos de suelo industrial, residencia y vehicular en Bogotá con proyección a sistemas urbanos de drenaje sostenible. (Trabajo de Grado). Universidad Santo Tomás de Aquino. Bogotá. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9236/GerenaJuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua: la turbidez. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- Guzmán, B., Nava, G. y Bevilacqua, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012. *Revista Biomedica* (2) Recuperado de: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/download/2511/2855/>
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Editorial Limusa. Pág. 87
- López, E., Mirensky, N., Iaconis, M. y Broitman, A. (s.f). Calidad del agua domiciliaria. Experiencia de aprendizaje en el transcurso de un proyecto de investigación: aplicación del método científico. Recuperado de

[http://www.palermo.edu/ingenieria/PDFs/GIIS/TRABAJO\\_COINI\\_LOPEZSA\\_RDI.pdf](http://www.palermo.edu/ingenieria/PDFs/GIIS/TRABAJO_COINI_LOPEZSA_RDI.pdf)

MANMUNI PETÉN ITZÁ, AMPI/MARN y SEGEPLAN. (2010). Plan estratégico para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá 2010-2020. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/73672068/Plan-Estrategico-lago-Peten-Itza-2010-2020>

Mayorga, M. (2008). Comercialización y organización empresarial (panadería) y proyecto: Producción de naranja valencia (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C. y García, M. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuesta a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay. *Revista Higiene y Sanidad Ambiental*. Recuperado de: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c\\_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

Méndez, J. y Pinelo, J. (2008). Desarrollo territorial de la cuenca del Lago Petén Itzá por medio de la metodología de la idoneidad localizativa (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Mendoza, D. (2008). Diagnóstico y pronóstico socioeconómico del municipio de Flores, departamento del Petén (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Mendoza, M. (2008). Comercialización (producción de maíz) y proyecto: Producción de chile pimiento (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2017). Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Petén Itzá. Recuperado de

[http://www.marn.gob.gt/paginas/Autoridad\\_para\\_el\\_Manejo\\_y\\_Desarrollo\\_Sostenible\\_de\\_la\\_Cuenca\\_del\\_Lago\\_Petn\\_Itz](http://www.marn.gob.gt/paginas/Autoridad_para_el_Manejo_y_Desarrollo_Sostenible_de_la_Cuenca_del_Lago_Petn_Itz)

Montoya, C. (2010). Diseño del sistema de agua potable en la aldea Aguadas Nuevas y de la ampliación de la red de alcantarillado sanitario en la ciudad de Santa Elena, en el Municipio de Flores, Petén (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Oliva, B. (2005). Proyecto FODECYT No. 20-2002: Contaminación en el lago Petén Itzá. Recuperado de <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202002.20.pdf>

Olivos, O. (2010). Diseño de plantas de tratamiento de aguas y desagües: Eutrofización. Recuperado de <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224506240109011/20102BT24022450624010901117911.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS), 2003: Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/16).

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2009) Medición del Cloro Residual, Guía técnica no. 11. recuperado de: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>

Organización Panamericana de la Salud (2000) *Los desastres naturales y la protección de la salud*. Washington, D.C. Pág. 58.

Pancorbo, F. (2011). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona, España: Marcombo.

Pensamiento, J. (2011). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano que suministra la municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, Departamento de El Progreso*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Pp. 65-67.

- Pérez, E. (2016) Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 23 (3) DOI: <http://dx.doi.org/Tm.V29i3.2884>
- Pérez, L., Alfaro, G., Palmieri, M., Dix, M., Maldonado, M., Islebe, G., Scharf, B. y Schwalb, A. (s.f). *Paleoclima y paleoecología de las tierras bajas del norte de los neotrópicos: investigación limnológica y extracción de sedimentos del lago Petén Itzá, Guatemala*, 18, Universidad del Valle de Guatemala.
- Pérez, L., Bugja, R., Massaferrero, J., Steeb, P., van Geldern, R., Frenzel, P., Brenner, M., Scharf, B. y Schwalb, A. (2010). Post-Columbian environmental history of lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(3), 490-507 pp.
- Pérez, C., León, F y Delgadillo, G. (2013). Tratamiento de aguas. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de [http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo\\_editorial/comite\\_editorial/manuales/tratamientodeaguas\\_manualprac.pdf](http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_manualprac.pdf)
- Pinelo, M. (s.f). Monografía San José, Petén [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/27015612/Monografia-San-Jose-Peten>
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo.
- Rojas, N., Muñoz, G., Sosa, A., & Baqueiro. (2016). Determinación de la calidad microbiológica del agua de la laguna de Chapulco . *Investigación y Ciencia* , 30-31.
- Salguero, M. (2009). *Gobernabilidad del agua en Guatemala: El caso del lago Petén Itzá*. FLACSO. Editorial: Ciencias Sociales.
- Sánchez, H. (s.f.). Estudio de evaluación de impacto ambiental: Diseño de la Fase II de la planta de tratamiento de aguas residuales del área central ubicada en San Benito, departamento de Petén. Ministerio de Ambiente

y Recursos Naturales (MARN), Programa de desarrollo de Petén para la Conservación de la Reserva de la Biósfera Maya (PDPCRBM). Recuperado de [http://snip.segeplan.gob.gt/share/SCHE\\$SINIP/OTROS\\_DOCUMENTOS/60635-HABPYZWTJA.pdf](http://snip.segeplan.gob.gt/share/SCHE$SINIP/OTROS_DOCUMENTOS/60635-HABPYZWTJA.pdf)

Sanchez, I., & Matsumoto, T. (2013). Estudio de Batimetría y Eficiencia de un sistema de Lagunas de Estabilización. *Ciencias Agrícolas*, 67-68.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia –SEGEPLAN-, (2010). Plan de desarrollo Santa Ana, Petén. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Andrés. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.

Secretaría de Planificación y Programación de la presidencia –SEGEPLAN-, (2010). Plan de desarrollo San Andrés, Petén. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Andrés. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia –SEGEPLAN-. (2013). Diagnóstico territorial de Petén. Recuperado de <http://www.segeplan.gob.gt/downloads/PDI%20Pet%C3%A9n%202013%20Diagn%C3%B3stico.pdf>.

Toxqui, L. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*. 350-355.

Universidad de Jaén. (2014) Análisis de Agua. [Archivo PDF]. Recuperado de [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia\\_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf?fbclid=IwAR1ePIYeRcnMOGIvzL0zpRc4M8KdrwqQ0C4WAI-KgOuprkBRpKkx9LjeTW0](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf?fbclid=IwAR1ePIYeRcnMOGIvzL0zpRc4M8KdrwqQ0C4WAI-KgOuprkBRpKkx9LjeTW0).

Vásquez, E. (2007). Organización empresarial (producción de maíz) y proyecto: Producción de limón persa (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala

### XIII. ANEXOS

#### Anexo 1. Puntos de muestreo

No.	Coordenadas	Pozo o toma de agua de la Comunidad
1	16°55'52.0"N 89°53'24.9"W	Ciudad Flores
2	16°54'43.2"N 89°54'44.2"W	San Benito
3	16°57'59.6"N 89°54'59.4"W	San Andrés
4	16°58'36.3"N 89°54'25.6"W	San José
5	17°00'44.2"N 89°50'19.3"W	San Pedro, San José
6	17°00'46.2"N 89°45'29.5"W	Jobompiche, San José
7	16°59'35.6"N 89°41'43.5"W	El Caoba, Flores
8	16°59'15.7"N 89°41'36.3"W	El Remate, Flores

**Descripción:** indicación de las coordenadas de los puntos donde se recolectaran las muestras de pozos o bombas

#### Anexo 2. Mapa del Lago Petén Itzá



**Descripción:** Localización de las ocho comunidades de interés en el muestreo

### Anexo 3. Resultados de parámetros fisicoquímicos de grifos obtenidos en época seca

Parámetro	Resultados								COGUANOR NTG 29 001: 2013
	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA/LMP
<b>Color</b>	16.0 UPt/Co	5.0 UPt/Co	11.0 UPt/Co	12.0 UPt/Co	13.0 UPt/Co	10.0 UPt/Co	11.0 UPt/Co	8.0 UPt/Co	<b>5.0 / 35.0 UPt/Co</b>
<b>Olor</b>	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	<b>No rechazable</b>
<b>Conductividad</b>	999.2 µS/cm	616.0 µS/cm	613.0 µS/cm	838.5 µS/cm	601.0 µS/cm	625.2 µS/cm	617.1 µS/cm	619.1 µS/cm	<b>750 / 1500 µS/cm</b>
<b>Salinidad</b>	0.542 mg/L	0.348 mg/L	0.344 mg/L	0.459 mg/L	0.340 mg/L	0.353 mg/L	0.349 mg/L	0.351 mg/L	_____
<b>STD</b>	489.2 mg/L	302.2 mg/L	298.4 mg/L	409.4 mg/L	293.1 mg/L	306.8 mg/L	302.6 mg/L	304.2 mg/L	<b>500 / 1000 mg/L</b>
<b>Turbiedad</b>	0.25 UNT	1.00 UNT	0.62 UNT	0.19 UNT	0.33 UNT	1.02 UNT	0.50 UNT	0.37 UNT	<b>5.0 / 15.0 UNT</b>
<b>pH</b>	7.66	7.73	7.58	7.51	7.82	7.94	7.97	7.76	<b>7.0- 7.5 / 6.5- 8.5</b>
<b>Dureza total</b>	692.4 mg/L	340.0 mg/L	375.6 mg/L	491.6 mg/L	390.8 mg/L	405.6 mg/L	392.8 mg/L	333.6 mg/L	<b>100 / 500 mg/L</b>
<b>Hierro total</b>	0.48 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.01mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	<b>0.0 / 0.3 mg/L</b>
<b>Calcio</b>	138.65 mg/L	68.08 mg/L	75.21 mg/L	98.44 mg/L	78.25 mg/L	81.22 mg/L	78.65 mg/L	66.8 mg/L	<b>75.0 / 150.0 mg/L</b>
<b>Magnesio</b>	84.11 mg/L	41.30 mg/L	45.62 mg/L	59.72 mg/L	47.47 mg/L	49.27 mg/L	47.72 mg/L	40.52 mg/L	<b>50.0 / 100.0 mg/L</b>
<b>Manganeso</b>	0.51 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	<b>0.1 / 0.4 mg/L</b>
<b>Nitratos</b>	1.40 mg/L	0.80 mg/L	1.00 mg/L	1.60 mg/L	1.0 mg/L	1.20 mg/L	0.70 mg/L	1.1 mg/L	<b>0.0 / 50.0 mg/L</b>
<b>Nitritos</b>	0.19 mg/L	0.19 mg/L	0.17 mg/L	0.14mg/L	0.1 mg/L	0.20 mg/L	0.15 mg/L	0.12 mg/L	<b>0.0 / 3.0 mg/L</b>
<b>Cloruros</b>	7.50 mg/L	13.2 mg/L	13.0 mg/L	13.60 mg/L	16.7mg/L	15.0 mg/L	14.30 mg/L	13.3 mg/L	<b>100 / 250 mg/L</b>
<b>Sulfatos</b>	90.0 mg/L	79.0 mg/L	80.0 mg/L	57.0 mg/L	81.0 mg/L	79.0 mg/L	78.0 mg/L	82.0 mg/L	<b>100 / 250 mg/L</b>
<b>Aluminio</b>	0.057 mg/L	0.06 mg/L	0.05 mg/L	0.05 mg/L	0.05 mg/L	0.04 mg/L	0.01 mg/L	0.04 mg/L	<b>0.05 / 0.1 mg/L</b>
<b>Cinc</b>	0.22 mg/L	0.24 mg/L	0.29 mg/L	0.26 mg/L	0.21 mg/L	0.28 mg/L	0.22 mg/L	0.33 mg/L	<b>3.0 / 70.0 mg/L</b>
<b>Cobre</b>	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	<b>0.05 / 1500 mg/L</b>
<b>Cloro Residual</b>	0.35 mg/L	0.05 mg/L	0.02 mg/L	0.66 mg/L	0.06 mg/L	0.50 mg/L	0.05 mg/L	0.03 mg/L	<b>0.5 / 1.0 mg/L</b>

Fuente: datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005. \*\*: LMA: Límite Máximo Aceptable. LMP: Límite Máximo Permisible.

#### Anexo 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos de bombas y pozos obtenidos en época seca

Parámetro	Resultados								COGUANOR NTG 29 001: 2013
	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA/LMP
<b>Color</b>	4.0 UPt/Co	3.0 UPt/Co	11.0 UPt/Co	12.0 UPt/Co	2.0 UPt/Co	3.0 UPt/Co	14.0 UPt/Co	11.0 UPt/Co	5.0 / 35.0 UPt/Co
<b>Olor</b>	No rechazable								
<b>Conductividad</b>	996.4 µS/cm	607.7 µS/cm	602.4 µS/cm	848.6 µS/cm	613 µS/cm	618.9 µS/cm	617.1 µS/cm	620.0 µS/cm	750 / 1500 µS/cm
<b>Salinidad</b>	0.539 mg/L	0.344 mg/L	0.344 mg/L	0.465 mg/L	0.347 mg/L	0.347 mg/L	0.349 mg/L	0.350 mg/L	—
<b>STD</b>	487.2 mg/L	298.4 mg/L	298.3 mg/L	414.7 mg/L	300.9 mg/L	303.9 mg/L	302.7 mg/L	303.7 mg/L	500 / 1000 mg/L
<b>Turbiedad</b>	0.18 UNT	0.62 UNT	1.12 UNT	0.14 UNT	0.62 UNT	1.19 UNT	1.19 UNT	0.53 UNT	5.0 / 15.0 UNT
<b>pH</b>	7.64	7.58	7.09	7.34	7.79	7.83	7.90	7.91	7.0- 7.5 / 6.5- 8.5
<b>Dureza total</b>	708.0 mg/L	375.6 mg/L	501.6 mg/L	521.6 mg/L	384.4 mg/L	405.6 mg/L	395.2 mg/L	384.4 mg/L	100 / 500 mg/L
<b>Hierro total</b>	0.29 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.08 mg/L	0.01 mg/L	0.04 mg/L	0.01 mg/L	0.02 mg/L	0.0 / 0.3 mg/L
<b>Calcio</b>	141.77 mg/L	75.21 mg/L	100.4 mg/L	104.5 mg/L	76.97 mg/L	81.22 mg/L	79.13 mg/L	153.94 mg/L	75.0 / 150.0 mg/L
<b>Magnesio</b>	86.01 mg/L	45.62 mg/L	60.93 mg/L	63.36 mg/L	46.49 mg/L	49.27 mg/L	48.01 mg/L	39.39 mg/L	50.0 / 100.0 mg/L
<b>Manganeso</b>	0.40 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.26 mg/L	0.01 mg/L	0.03 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.1 / 0.4 mg/L
<b>Nitratos</b>	0.90 mg/L	1.00 mg/L	0.08 mg/L	2.0 mg/L	0.70 mg/L	0.70 mg/L	0.80 mg/L	1.1 mg/L	0.0 / 50.0 mg/L
<b>Nitritos</b>	0.09 mg/L	0.17 mg/L	0.15 mg/L	0.50 mg/L	0.16 mg/L	0.12 mg/L	0.09 mg/L	0.09 mg/L	0.0 / 3.0 mg/L
<b>Cloruros</b>	8.2 mg/L	13.0 mg/L	13.0 mg/L	12.9 mg/L	13.3 mg/L	13.3 mg/L	15.50 mg/L	11.70 mg/L	100 / 250 mg/L
<b>Sulfatos</b>	89.0 mg/L	80.0 mg/L	81.0 mg/L	56.0 mg/L	81.0 mg/L	81.0 mg/L	80.0 mg/L	81.0 mg/L	100 / 250 mg/L
<b>Aluminio</b>	0.063 mg/L	0.05 mg/L	0.05 mg/L	0.05 mg/L	0.04 mg/L	0.03 mg/L	0.05 mg/L	0.02 mg/L	0.05 / 0.1 mg/L
<b>Cinc</b>	0.34 mg/L	0.29 mg/L	0.22 mg/L	0.26 mg/L	0.24 mg/L	0.29 mg/L	0.27 mg/L	0.22 mg/L	3.0 / 70.0 mg/L
<b>Cobre</b>	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.01 mg/L	0.04 mg/L	0.03 mg/L	0.02 mg/L	0.01 mg/L	0.05 / 1500 mg/L

Fuente: datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005. \*\*: LMA: Límite Máximo Aceptable. LMP: Límite Máximo Permisible.

## Anexo 5. Resultados de parámetros fisicoquímicos de grifos obtenidos en época lluviosa

RESULTADOS									COGUANOR NTG 29001: 2013
Parámetro	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA-LMP
<b>Color</b>	35.0 UPt/Co	35.0 UPt/Co	37.0 UPt/Co	35.0 UPt/Co	35.0 UPt/Co	38.0 UPt/Co	36.0 UPt/Co	34.0 UPt/Co	5.0 – 35.0 UPt/Co
<b>Olor</b>	No rechazable								
<b>Conductividad</b>	990.3 µS/cm	594.7 µS/cm	596.6 µS/cm	825.1 µS/cm	596.6 µS/cm	603.1 µS/cm	631.4 µS/cm	599.3 µS/cm	750 – 1,500 µS/cm
<b>Salinidad</b>	0.537 mg/L	0.338 mg/L	0.339 mg/L	0.453 mg/L	0.339 mg/L	0.342 mg/L	0.356 mg/L	0.340 mg/L	-----
<b>Solidos totales disueltos</b>	485.7 mg/L	291.9 mg/L	292.8 mg/L	404.8 mg/L	292.8 mg/L	285.2 mg/L	309.90 mg/L	294.2 mg/L	500.0 – 1,000.0 mg/L
<b>Turbiedad</b>	2.76 UNT	1.43 UNT	0.67 UNT	0.86 UNT	0.65 UNT	2.22 UNT	1.11 UNT	1.36 UNT	5,0 – 15.0 UNT
<b>pH</b>	7.45	7.98	7.96	7.41	7.93	7.72	7.93	7.94	6.5 – 8.5
<b>Dureza total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	678.0 mg/L	296.0 mg/L	292.4 mg/L	413.2 mg/L	276.0 mg/L	285.2 mg/L	275.2 mg/L	270.4 mg/L	100.0 – 500.0 mg/L
<b>Hierro total</b>	0.03 mg/L	0.3 mg/L							
<b>Calcio</b>	135.76 mg/L	59.27 mg/L	58.55 mg/L	82.74 mg/L	55.27 mg/L	57.11 mg/L	55.11 mg/L	54.14 mg/L	75.0 – 150.0 mg/L
<b>Magnesio</b>	82.36 mg/L	35.96 mg/L	35.52 mg/L	50.19 mg/L	33.53 mg/L	34.64 mg/L	33.43 mg/L	32.85 mg/L	50.0 – 100.0 mg/L
<b>Manganeso</b>	0.012 mg/L	0.017 mg/L	0.012 mg/L	0.010 mg/L	0.010 mg/L	0.014 mg/L	0.010 mg/L	0.010 mg/L	0.1 – 0.4 mg/L
<b>Nitratos</b>	0.80 mg/L	0.60 mg/L	0.70 mg/L	1.70 mg/L	0.40 mg/L	4.50 mg/L	0.50 mg/L	0.50 mg/L	50.0 mg/L
<b>Nitritos</b>	0.22 mg/L	0.19 mg/L	0.18 mg/L	0.23 mg/L	0.29 mg/L	0.25 mg/L	0.23 mg/L	0.37 mg/L	3.00 mg/L
<b>Cloruros</b>	9.90 mg/L	15.70 mg/L	15.9 mg/L	15.1 mg/L	15.4 mg/L	19.3 mg/L	15.3 mg/L	15.6 mg/L	100.0 – 250.0 mg/L
<b>Sulfatos</b>	90.0 mg/L	79.0 mg/L	78.0 mg/L	54.0 mg/L	81.0 mg/L	75.0 mg/L	80.0 mg/L	83.0 mg/L	100.0 – 250.0 mg/L
<b>Aluminio</b>	0.020 mg/L	0.050 – 0.10 mg/L							
<b>Cinc</b>	0.23 mg/L	0.23 mg/L	0.32 mg/L	0.22 mg/L	0.32 mg/L	0.20 mg/L	0.18 mg/L	0.30 mg/L	3.0 – 70.0 mg/L
<b>Cobre</b>	0,02 mg/L	0.09 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.04 mg/L	0.02 mg/L	0.050 – 1.500 mg/L
<b>Cloro residual</b>	0.47 mg/L	0.26 mg/L	0.24 mg/L	0.24 mg/L	0.23 mg/L	1.24 mg/L	0.24 mg/L	0.25 mg/L	0.5 – 1.0 mg/L

Fuente: datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005. \*\*: LMA: Límite Máximo Aceptable. LMP: Límite Máximo Permissible.

## Anexo 6. Resultados de parámetros fisicoquímicos de bombas y pozos obtenidos en época lluviosa

RESULTADOS									COGUANOR NTG 29001: 2013
Parámetro	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA-LMP**
<b>Color</b>	35.0 UPt/Co	38.0 UPt/Co	38.0 UPt/Co	34.0 UPt/Co	38.0 UPt/Co	43.0 UPt/Co	37.0 UPt/Co	37.0 UPt/Co	5.0 – 35.0 UPt/Co
<b>Olor</b>	No rechazable								
<b>Conductividad</b>	988.7 µS/cm	587.7 µS/cm	588.8 µS/cm	849.1 µS/cm	601.70 µS/cm	601.1 µS/cm	595.8 µS/cm	602.6 µS/cm	750 – 1,500 µS/cm
<b>Salinidad</b>	0.536 mg/L	0.334 mg/L	0.335 mg/L	0.465 mg/L	0.341 mg/L	0.341 mg/L	0.338 mg/L	0.342 mg/L	-----
<b>Sólidos totales disueltos</b>	484.9 mg/L	288.5 mg/L	289.0 mg/L	416.6 mg/L	295.3 mg/L	295.0 mg/L	292.4 mg/L	295.8 mg/L	500.0 – 1,000.0 mg/L
<b>Turbiedad</b>	1.37 UNT	1.27 UNT	1,17 UNT	1.15 UNT	1.07 UNT	2.41 UNT	1.61 UNT	0.82 UNT	5,0 – 15.0 UNT
<b>pH</b>	7.59	7.91	7.94	7.19	7.94	7.91	7.99	7.93	6.5 – 8.5
<b>Dureza total (CaCO<sub>3</sub>)</b>	540.0 mg/L	313.6 mg/L	302.0 mg/L	430.0 mg/L	304.8 mg/L	284.4 mg/L	281.6 mg/L	309.6 mg/L	100.0 – 500.0 mg/L
<b>Hierro total</b>	0.03 mg/L	0.3 mg/L							
<b>Calcio</b>	108.13 mg/L	62.79 mg/L	60.47 mg/L	86.10 mg/L	61.03 mg/L	56.95 mg/L	56.39 mg/L	61.99 mg/L	75.0 – 150.0 mg/L
<b>Magnesio</b>	65.60 mg/L	38.09 mg/L	36.38 mg/L	52.23 mg/L	37.03 mg/L	34.55 mg/L	34.21 mg/L	37.61 mg/L	50.0 – 100.0 mg/L
<b>Manganeso</b>	0.142 mg/L	0.029 mg/L	0.055 mg/L	0.010 mg/L	0.019 mg/L	0.056 mg/L	0.013 mg/L	0.020 mg/L	0.1 – 0.4 mg/L
<b>Nitratos</b>	0.90 mg/L	0.50 mg/L	0.80 mg/L	1.10 mg/L	0.50 mg/L	1.0 mg/L	1.5 mg/L	0.60 mg/L	50.0 mg/L
<b>Nitritos</b>	0.20 mg/L	0.28 mg/L	0.15 mg/L	0.32 mg/L	0.21 mg/L	0.35 mg/L	0.36 mg/L	0.32 mg/L	3.00 mg/L
<b>Cloruros</b>	8.40 mg/L	15.5 mg/L	31.50 mg/L	16.70 mg/L	15.90 mg/L	15.4 mg/L	16.0 mg/L	16.0 mg/L	100.0 – 250.0 mg/L
<b>Sulfatos</b>	90.0 mg/L	78.0 mg/L	79.0 mg/L	54.0 mg/L	81.0 mg/L	79.0 mg/L	77.0 mg/L	79.0 mg/L	100.0 – 250.0 mg/L
<b>Aluminio</b>	0.020 mg/L	0.050 – 0.10 mg/L							
<b>Cinc</b>	0.26 mg/L	0.53 mg/L	0.22 mg/L	0.20 mg/L	0.19 mg/L	0.30 mg/L	0.28 mg/L	0.25 mg/L	3.0 – 70.0 mg/L
<b>Cobre</b>	0,02 mg/L	0.02 mg/L	0.02 mg/L	0.03 mg/L	0.02 mg/L	0.11 mg/L	0.02 mg/L	0.03 mg/L	0.050 – 1.500 mg/L

Fuente: datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005. \*\*: LMA: Límite Máximo Aceptable. LMP: Límite Máximo Permisible.

## Anexo 7. Resultados de parámetros bacteriológicos de grifos obtenidos en época seca

Resultados									COGUANOR NTG 29 001: 2013
Análisis	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA/LMP
<b>Coliformes totales</b>	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (2 NMP/ 100 mL	Detectable/ 100mL (1416 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (104 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (35 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL
<b>Escherichia coli</b>	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (3 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (3 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL

\*: NMP: número más probable. **Fuente:** datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21ed. 2005.

## Anexo 8. Resultados de parámetros bacteriológicos de bombas y pozos obtenidos en época seca

Resultados									COGUANOR NTG 29 001: 2013
Análisis	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	LMA/LMP
<b>Coliformes totales</b>	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (143 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (920 NMP/ 100 mL )	Detectable/ 100mL (119 NMP/ 100 mL )	Detectable/ 100mL (18 NMP/ 100 mL )	Detectable/ 100mL (27 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL
<b>Escherichia coli</b>	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (5 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	Detectable/ 100mL (9 NMP/ 100 mL )	Detectable/ 100mL (3 NMP/ 100 mL )	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL	No detectable / 100 mL

\*: NMP: número más probable. **Fuente:** datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21ed. 2005

## Anexo 9. Resultados de parámetros bacteriológicos de grifos obtenidos en época lluviosa

Análisis	Resultado								Límites COGUANOR NTG 29001: 2013
	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	
<b>Coliformes totales</b>	No detectable/ 100 MI	Detectable/10 0 mL (2,419.6 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (1,413.6 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (7.5 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (12.2 NMP/100 mL)	No detectable/10 0 MI	Detectable/10 0 mL (48.0 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (21.6 NMP/100 mL)	No detectable /100 ml
<b>Escherichia coli</b>	No detectable/ 100 mL	Detectable/10 0 mL (3.0 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (105.0 NMP/100 mL)	No detectable/10 0 mL	No detectable/10 0 MI	No detectable/10 0 MI	No detectable/10 0 mL	Detectable/10 0 mL (2.0 NMP/100 mL)	No detectable /100 ml

\*: NMP: número más probable. **Fuente:** datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21ed. 2005

## Anexo 10. Resultados de parámetros bacteriológicos de bombas y pozos obtenidos en época lluviosa

Análisis	Resultado								Límites COGUANOR OR NTG 29001: 2013
	Flores	San Andrés	San José	San Benito	Jobompiche	San Miguel	El Remate	El Caoba	
<b>Coliformes totales</b>	No detectable/ 100 mL	Detectable/10 0 mL (2,419.6 NMP*/100 mL)	Detectable/10 0 mL (1,203.3 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (2.0 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (290.9 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL (816.4 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (155.3 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (159.7 NMP/100 mL)	No detectable/ 100 ml
<b>Escherichia coli</b>	No detectable/ 100 mL	No detectable/100 mL	No detectable/100 MI	No detectable/100 mL	Detectable/10 0 mL (16.1 NMP/100 mL)	Detectable/10 0 mL(13.5 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (3.1 NMP/100 mL)	Detectable/100 mL (5.2 NMP/100 mL)	No detectable/ 100 ml

\*: NMP: número más probable. **Fuente:** datos experimentales. \*: Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21ed. 2005

## Anexo 11. Fotografías de muestreo

**Fotografía 1.** AMPI



**Descripción:** Primera reunión informativa del desarrollo del proyecto con autoridades de AMPI.

**Fotografía 2.** Toma de muestra



**Descripción:** Toma de muestra de grifo en estación de la Policía en comunidad de El Remate

**Fotografía 3.** Toma de muestra



**Descripción:** Toma de muestra de pozo en la comunidad de San Benito

**Fotografía 4.** Toma de muestra



**Descripción:** Toma de muestra de grifo de casa en comunidad de San Miguel

**Fotografía 5.** Toma de muestra (época seca )



**Descripción:** Toma de muestra de grifo en estación de la Policía en comunidad El Remate

**Fotografía 6.** Toma de muestra



**Descripción:** Toma de muestra de bomba en comunidad de Jobompiche

**Fotografía 7.** Toma de muestra



**Descripción:** Toma de muestra de bomba en comunidad El Remate

Mayra Carolina Ovalle León  
**Autora**

María José Ozaeta Burgos  
**Autora**

Ingrid Paola de Paz Reyes  
**Autora**

M.A. Ana Evelia Rodas de García  
**Asesora**

Msc. Alba Marina Valdés de García  
**Revisora**

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel  
**Director**  
**Escuela de Química Biológica**

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto  
**Decano**  
**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia**