

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

**INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN
TRES LAGOS DE GUATEMALA**

CLAUDIA MARÍA GALINDO GARCÍA

QUÍMICA BIOLÓGICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DEL 2011

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

**INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN
TRES LAGOS DE GUATEMALA**

Informe de Tesis

Presentado por

Claudia María Galindo García

Para optar al título de

Química Biológica

Guatemala, noviembre del 2011

JUNTA DIRECTIVA

Oscar Cóbar Pinto, Ph.D.	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto, M.A.	Secretaria
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli	Vocal III
Br. José Roy Morales Coronado	Vocal IV
Br. Cecilia Liska de León	Vocal V

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Felipe Galindo Rangel y María del Carmen García de Galindo, por ser quienes guiaron parte de mi vida; a mi esposo, Raúl Israel Lemus Toledo, por ser el apoyo constante para llevarlo a cabo. Sin el amor de ellos y su paciencia, no estaría hoy cumpliendo una meta más.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer:

- A las familias Girón Galindo, Cardona Galindo, García Monzón y García de León por todo su apoyo, ayuda y participación en el proceso de realización de este trabajo.
- A la Doctora Karin Herrera y al M. Sc. Hayro García por su asesoría.
- Al Laboratorio Microbiológico de Referencias –LAMIR- y su personal por su ayuda y orientación.

INDICE

Contenido	Página
I. Resumen	1
II. Introducción	3
III. Antecedentes	5
A. Características generales de los lagos	5
B. El agua y el ambiente	8
C. Fuentes de contaminación del agua	8
D. Microorganismos indicadores de contaminación del agua	10
E. Legislación del agua en Guatemala	20
IV. Justificación	22
V. Objetivos	23
VI. Hipótesis	24
VII. Materiales y Métodos	25
VIII. Resultados	36
IX. Discusión de Resultados	42
X. Conclusiones	48
XI. Recomendaciones	49
XII. Referencias	50
XIII. Anexos	57
1. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores	57
2. Localización de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán	58
3. Localización de los puntos de muestreo en el lago de Izabal	59
4. Localización de los puntos de muestreo en el lago Petén Itzá	60
5. Cuadro 1. Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Amatitlán	61
6. Cuadro 2. Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Izabal	62
7. Cuadro 3. Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Petén Itzá	63

I. RESUMEN

Los lagos de Guatemala son fuente de vida para muchas comunidades que se ubican a su alrededor y que dependen de ella para su consumo diario. Desafortunadamente estos cuerpos de agua se han ido contaminando tanto por residuos químicos como por materia orgánica, particularmente heces fecales que contienen microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales.

En este estudio se evaluó la contaminación microbiológica de los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá, utilizando indicadores microbiológicos como bacterias coliformes fecales, *E. coli*, colifagos y huevos de parásitos helmintos.

Las muestras fueron tomadas en cinco puntos diferentes de los lagos de Izabal y Petén Itzá y en dos puntos del lago de Amatitlán, realizándose los muestreos en época seca y lluviosa. Los puntos de muestreo escogidos se ubicaron de poblados asentados en los alrededores de los lagos y en el centro de los lagos.

Las muestras para bacterias coliformes fueron procesadas por el método de filtración de agua acorde a las normas de control de calidad. Las muestras de colifagos por el método de placas de lisis o calvas, y las muestras de parásitos por el método de sedimentación.

Los resultados mostraron que los niveles de contaminación por bacterias coliformes fecales, colifagos, huevos de helmintos y *E. coli* son más altos en áreas donde hay poblados cercanos, que tienen mala disposición de vertido de desechos domiciliarios a los lagos.

El lago de Amatitlán presenta los recuentos más altos, encontrándose estos microorganismos indicadores hasta los dos centros del lago con diluciones máximas de 10^5 durante la época de lluvia. Sin embargo este es el único lago que cuenta con un plan de tratamiento y saneamiento de aguas que ha reducido la presencia de estos indicadores.

En el lago de Izabal la parte más contaminada se encontró en las cercanías al municipio de El Estor en donde hay presencia no solamente de coliformes fecales, *E. coli*, colifagos y huevos de helmintos en las dos épocas de muestreo. En el punto medio de la desembocadura del río Polochic es otro de los sitios con presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, pero en menor cantidad, pero no se encontró contaminación en el centro del lago, en ninguna de las dos épocas de muestreo

En cuanto al lago Petén Itzá, bacterias coliformes y *E. coli* están presentes en los cinco puntos muestreados, en los cuales hay poblados cercanos, siendo Santa Elena el que

presenta los recuentos más altos, aunque no varían mucho en relación a los otros sitios muestreados. También se encontró presencia de colifagos y de huevos de parásitos helmintos en todos los puntos de muestreo (los poblados cercanos poseen malos o nulos servicios de recolección y tratamiento de aguas negras).

Aunque se encontró presencia de colifagos y de huevos de parásitos helmintos en los tres lagos, su presencia resultó ser variable, tanto por la estación así como factores de arrastre y de intensidad en la corriente del agua como por variaciones en la presencia de personas cercanas a los sitios muestreados, tal es el caso frente al Castillo de San Felipe, en el lago de Izabal donde los colifagos se encontraron sólo en época de lluvia.

La presencia de colifagos en la mayor parte de los puntos muestreados, permitió establecer una relación entre su presencia junto a *E. coli*, revelando que también se pueden emplear los colifagos como indicadores microbiológicos de calidad de agua en lagos.

Los lagos muestran diferencias de contaminación entre sí, y el grado de contaminación de tipo microbiológico, de acuerdo a los parámetros evaluados es de mayor a menor Amatitlán, Petén Itzá e Izabal.

II. INTRODUCCIÓN

El aumento del número de casos de contaminación de aguas superficiales por microorganismos provenientes de aguas residuales, ha incrementado en Guatemala la investigación de los mecanismos de eliminación de bacterias, virus y parásitos en el suelo. Debido al aumento de la población y a la falta de educación ambiental, existe gran presión sobre los recursos naturales en la cuenca de los lagos del país, lo cual puede degenerar en mayor deterioro de la calidad del agua de los mismos y su existencia (1,2).

El presente estudio pretende evaluar el grado de contaminación microbiológica de los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá por medio de indicadores microbiológicos como bacterias coliformes fecales y *E. coli*, (empleando el método de filtración de agua según las normas de COGUANOR NGO 29001; NGO 29005 y NGO 29011); colifagos (mediante el ensayo de placas de lisis o calvas) y huevos de parásitos helmintos (por medio del método de sedimentación).

Aunque existe una gran variedad de agentes patógenos que se pueden detectar directamente en el agua, generalmente se utiliza la detección de organismos indicadores como un índice de contaminación posible del agua por agentes patógenos humanos. Para la detección de contaminación bacteriana de origen fecal, se utilizan como indicadores principales bacterianos: coliformes fecales, *E. coli*, así como la presencia de colifagos y huevos de parásitos helmintos.

Desde el punto de vista de la salud pública, los virus entéricos, las bacterias fecales y los huevos de parásitos helmintos, son los grupos de organismos patógenos más críticos ya que la dosis mínima infecciosa es muy baja, y resultan muy resistentes a los sistemas de desinfección. Además, hasta hace poco tiempo, se empezó a gestionar leyes para regular la presencia de organismos patógenos en aguas de lagos.

Ya que la contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, y que se carece de programas de manejo de desechos orgánicos hacia fuentes naturales de agua en muchos poblados, es necesario establecer un control sanitario microbiológico que ayude a las comunidades que habitan alrededor de los lagos. Es

frecuente observar que ante la carencia de agua potable, el agua de los lagos es la primera en utilizarse (3).

III. ANTECEDENTES

A. Características generales de los lagos

1. Lago de Amatitlán

El lago de Amatitlán se encuentra ubicado a 32 kilómetros de la ciudad capital, a una altura de 1,186 metros sobre el nivel del mar, tiene una longitud máxima de 11 kilómetros y un ancho máximo de 3.4 Km. Se estima que el volumen de agua es de 225 millones de metros cúbicos; su profundidad promedio es de 15 metros y la máxima es de 32 metros. Su extensión actual es de 15 Kilómetros cuadrados. Los municipios que comparten las riberas del lago son Amatitlán, Villa Canales, San Miguel Petapa y Villa Nueva.

Desde la época precolombina, el lago fue la fuente principal de abastecimiento de agua y de alimento para las tribus Pocomám asentadas a su alrededor, y en la actualidad, es utilizado con fines de consumo doméstico, irrigación, recreación, hidroelectricidad, navegación comercial en pequeña escala y pesca con fines nutricionales y comerciales.

El lago se encuentra dentro de la llamada “Cuenca del lago de Amatitlán”, que es un área geográfica cuyas aguas superficiales desembocan en el lago a través del río Villalobos y sus afluentes. Se encuentra ubicada en el Valle de las Vacas o de la Ermita, en el departamento de Guatemala y presenta una extensión de 381.31 kilómetros cuadrados.

La cuenca está formada por catorce municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez, de los cuales siete municipios tienen influencia directa en el lago (Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán y Guatemala - parte sur de la Ciudad Capital zona 7, 11, 12, 13 y 21-), debido al impacto producido por la degradación de los recursos naturales. La población de la cuenca es aproximadamente de 2,000,000 de habitantes.

Dentro de los factores que influyen en el deterioro del lago se encuentran:

- a. Producción Industrial: que en la actualidad cuenta con más de 3,193 industrias reportadas por el Instituto Nacional de Estadística –INE-, en 1996. De éstas, 1200 se

encuentran ubicadas en la Cuenca y presentan falta de tratamiento de residuos líquidos, sólidos y gaseosos.

- b. Residuos sólidos: se calcula que llegan al lago más de 75,000 toneladas al año de basura provenientes de barrancos, carreteras, cunetas y botaderos clandestinos, que por mala disposición llegan al lago al ser arrastrados por la lluvia, por fuertes vientos o por ser depositados directamente en el lago, provocando el deterioro del cuerpo hídrico.
- c. Residuos líquidos: el crecimiento acelerado de las áreas urbanas e industriales en los municipios que rodean al lago, ha provocado la eutrofización de este lago con contaminantes químicos y materia orgánica. Las aguas residuales domésticas constituyen un 86% de las aguas que ingresan al lago y son vertidas inicialmente a los barrancos, ríos, riachuelos y al suelo sin ningún tratamiento, siendo la principal consecuencia la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que llegan y son depositadas al lago (4,5).

2. Lago de Izabal

El lago de Izabal es el mayor lago de Guatemala, se encuentra ubicado en el departamento del mismo nombre, a 275km de la ciudad capital, y a una altitud promedio de 0.8 msnm. Tiene una extensión de 717km², con una longitud máxima de 70Km, un ancho máximo de 20km y profundidad media de 12m. Su principal afluente es el río Polochic, que aporta un 70% de sus aguas, el cual se divide en dos ramales llamados Bocas del Polochic, que sirven como un sistema de filtración para la contaminación. Este río tiene una longitud aproximada de 100km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el lago. Existen muchas comunidades asentadas a lo largo de su recorrido, que se dedican a la agricultura y ganadería y que utilizan al río como fuente de agua para consumo y lugar para descarga de residuos sólidos y residuos líquidos (aguas residuales domésticas).

Este lago es de gran importancia para las comunidades que se encuentran en sus márgenes, porque se utiliza como vía de comunicación, es fuente de alimento para la población por la pesca; se utiliza para irrigación, para consumo doméstico y ganadero;

además es sitio de recreación y turismo. El lago representa el área más importante para la alimentación, refugio y apareamiento del manatí en Guatemala.

Dentro de los municipios de Izabal, El Estor es el más importante de los ubicados en las márgenes del lago por ser el más poblado. Según datos del Instituto Nacional de Estadística INE, la población en 2002 era de 42,984 habitantes (29,30). Otro municipio que comparte varios poblados en sus riberas son Los Amates y Morales.

Debido a las mismas actividades humanas, los factores que más están contribuyendo con el deterioro del lago son:

- a. Eliminación de residuos líquidos, especialmente aguas residuales domésticas hacia el lago, sin ser previamente tratadas, por falta de recursos para implementar proyectos de sanidad.
- b. Eliminación de cierta parte de residuos sólidos como materia orgánica y basura hacia el lago, y que son arrastrados por la corriente hacia otros lugares (2, 6, 7).

3. Lago Petén Itzá

Este lago se encuentra en el departamento del Petén, a 498km de la ciudad capital, a 110 msnm. Tiene una extensión aproximada de 99 kilómetros cuadrados, entre la latitud 16°54'40" a 17°01'00", longitud 89°41'30" a 89°58'30". Este lago presenta una profundidad máxima aproximada de 50 metros y una mínima de 1.2 metros, que suele ser variable con las estaciones climáticas. En uno de sus islotes se encuentra ubicada la Ciudad de Flores, que es la cabecera municipal.

El lago tiene forma longitudinal, orientado de oeste a este, en cuyas riberas se asientan comunidades y fincas. De los 12 municipios en que se divide Petén, cuatro tienen comunidades en sus riberas: Flores, San Andrés, San Benito y San José, así como varias aldeas que pertenecen a estos municipios.

Desde tiempos precolombinos, este lago fue fuente de alimento y medio de comunicación para los itzaes con otros poblados. En la actualidad, se utiliza como fuente

de consumo doméstico, irrigación, recreación, turismo, navegación comercial en pequeña escala y pesca con fines nutricionales y comerciales.

Una de las actividades que está causando la contaminación del lago es la mala disposición de desechos domésticos, que implica dos vías:

- a. Eliminación de residuos líquidos, especialmente aguas residuales domésticas hacia el lago, sin ser previamente tratadas.
- b. Eliminación inadecuada materia orgánica y basura hacia el lago, y que son arrastrados por la corriente, o por el viento hacia otros lugares (8).

B. El Agua y el ambiente

La vida surgió en el agua y es esencial para el mantenimiento de todo tipo de vida en nuestro planeta. El agua disuelve las rocas, erosiona el terreno y arrastra sedimentos a los lagos, ríos y al océano y es el medio natural para muchas formas de vida (1, 9).

El ecosistema es la unidad ecológica en la cual un grupo de organismos interactúan entre sí y estos con el ambiente. Un lago es el mejor ejemplo de un ecosistema acuático en donde los distintos grupos de organismos que lo habitan determinan la complejidad del mismo y su estado trófico. La estabilidad y productividad de la vida de un lago está determinada por una red compleja de factores que van desde la penetración de la luz hasta el efecto que el hombre ejerce sobre él a través de las prácticas culturales que realiza en su área de influencia, como la industria y agricultura. Existen factores que influyen para que se desarrolle la vida en los lagos, pero estos factores pueden perder el equilibrio, por la influencia ejercida por la naturaleza del sustrato o por efectos de la contaminación doméstica e industrial producida por el hombre (9,10).

C. Fuentes de contaminación del agua

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más

importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (1).

La palabra contaminación, proviene del latín *contaminare* que significa mezclar, infectar, ensuciar o manchar. De acuerdo con la definición de esta palabra, se refiere a la simple transmisión de elementos por el agua, compuestos o microorganismos que pueden perjudicar la salud del hombre o de los animales que la beben, desempeñando el papel de vehículo del agente contaminante (9).

Se define como la adición de sustancias extrañas que deterioran su calidad. La calidad del agua se refiere a su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para la bebida del hombre y de los animales, para el soporte de una vida sana, para el riego de cultivos y para la recreación.

Un contaminante puede tener dos tipos de origen:

- Inerte, como el plomo, mercurio, detergentes provenientes de desechos industriales o agrícola;
- No inerte o de origen vivo, como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos, especialmente las aguas negras.

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 (9,11).

Las principales fuentes de contaminación acuática son las siguientes:

1. por desechos industriales
2. por desechos e insumos de la agricultura
3. por desechos domésticos

Hynes (1974), describe la contaminación natural, como la descomposición natural de la materia orgánica, acumulada en exceso, causando cambios drásticos en la concentración de oxígeno y valores de pH, que pueden ser a veces mortales para los animales. El arrastre

de sedimentos por fuertes crecientes enturbia el agua y destruye el hábitat que sirve de desove y 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 -que agota el oxígeno- y así como la presencia de sustancias tóxicas y metales pesados. Entre los microorganismos indicadores de contaminación en el agua se encuentran las bacterias, los virus y los parásitos intestinales. Para que puedan ser utilizadas como indicadores deben cumplir con las siguientes condiciones (1, 9, 12):

1. Estar basado en el conocimiento vinculante entre ambiente y salud.
2. El indicador debe ser sensitivo a cambios en las condiciones de interés.
3. Ser consistente y comparable en todo tiempo y espacio.
4. Ser enérgico y no afectarse por un cambio menor en la metodología o escala usada para su construcción.
5. Tener credibilidad científica.
6. Ser fácilmente entendible
7. Estar basado sobre datos de conocimiento y calidad aceptable.
8. Ser selectivo para ayudar a priorizar la clave de los problemas.

Por las razones anteriores se escogieron como indicadores microbiológicos a nivel general a las bacterias coliformes fecales, los colifagos en el grupo de los virus, huevos de helmintos en el grupo de los parásitos

D. Microorganismos indicadores de contaminación del agua

1. Coliformes

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son

lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las bacterias coliformes (1).

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana ya que los coliformes son:

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
- Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección (1, 9, 13).

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. Además los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, por lo que se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal (1,14).

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales, como indicador, es el hecho de que algunos son capaces de multiplicarse en el agua. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior (1).

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos

vegetales, como hojas en descomposición. También pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Por estas razones y por la existencia de bacterias que responden a la definición de coliformes que no son de origen fecal y que incluso pueden ser lactosa-negativas (apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa), el grupo de los coliformes totales tiene actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal (1,11).

Su uso se ha restringido para aguas tratadas y aguas minerales. Para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales deben usarse los coliformes fecales. Solamente deberá recurrirse a los coliformes totales si no hay condiciones para cuantificar los coliformes fecales. La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución (1, 11, 13, 15).

El reglamento de descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, incluye en sus artículos 6,9 y 10 como parámetros microbiológicos la presencia de coliformes fecales en rangos específicos para lagos, lagunas, embalses naturales y artificiales (Anexo1) como indicadores de contaminación por patógenos. Esta ley obliga que las aguas residuales así como las descargas de aguas domésticas no sean vertidas en aguas utilizadas para actividades recreativas de contacto primario, acuicultura, pesca, hacia estos cuerpos de agua, que posteriormente son reutilizadas para fines de consumo y/o riego (12).

Investigaciones recientes realizadas en el afluente del lago de Izabal, reporta que donde se unen los ríos Cahabón y Polochic, se realizaron mediciones de los indicadores microbiológicos y fisicoquímicos de calidad en agua y se encontró que hay elevado recuento de coliformes totales y fecales, y que suele ser mayor en el río Polochic. Es notable la disminución en la concentración de coliformes al pasar el agua del río Polochic a la división del río, conocida como Bocas del Polochic (Bocas de Cobán y Bocas de Buhajal), lo que podría deberse a una retención en los humedales.

En el lago de Izabal, también se observó un aumento en la concentración de coliformes totales de época seca a época lluviosa, pero también durante esa época se encontraron niveles menores frente a El Estor; lo que indicaría que el río Polochic tiene un gran impacto en la contaminación, pero al desembocar del lago disminuyen considerablemente los niveles de coliformes fecales (2,16).

2. Colifagos

Se define como colifagos a los virus que parasitan a la bacteria *Escherichia coli* causando un rompimiento o lisis de la bacteria. Los virus bacterianos fueron descubiertos por F. W. Twort en 1915, quien los describió como agentes que producían una “transformación vidriosa” en colonias bacterianas. Acerca de los virus, se sabe que, aún en bajas concentraciones, tienen la capacidad de causar infección o enfermedad. Algunos virus son más resistentes a la desinfección que los organismos coliformes, por lo que los indicadores tradicionales de contaminación bacteriana no evalúan de manera eficiente la presencia o ausencia de virus en el agua (1, 17, 18).

En contraste con las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes solamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados. Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Estos son los virus entéricos eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (rotavirus) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida (15,19).

El poliovirus ha sido propuesto como indicador viral. Sin embargo, las cantidades de este virus encontradas en ambientes acuáticos son demasiado variables como para que sea considerado un buen indicador. Además de estas variaciones, la detección de virus entéricos requiere laboratorios especializados y los resultados tardan varios días. Estas dificultades en el uso de los enterovirus como indicadores de contaminación de origen fecal en el agua, ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean de rápida y fácil detección y que permitan prever el comportamiento de los enterovirus en el medio ambiente. Estos indicadores son los fagos (19).

Se han propuesto dos tipos de fagos: colifagos somáticos y colifagos F específicos. Los argumentos que validan la propuesta de los mismos son:

- Los fagos se encuentran abundantemente en agua residual y agua contaminada.
- Las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus.
- Los colifagos son incapaces de reproducirse fuera del huésped bacteriano.
- Los colifagos se pueden aislar y contar usando métodos sencillos.
- Se obtienen resultados más rápidos cuando se analizan los colifagos que cuando se trabaja con enterovirus.
- Ciertos colifagos son tan resistentes como los enterovirus a los procesos de desinfección (20).

Los colifagos se relacionan directamente con su huésped bacteriano específico, *E. coli*. Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, los coliformes fecales no son buenos indicadores de contaminación fecal, ya que desaparecen rápidamente. Por consiguiente es mejor usar microorganismos más resistentes, como los colifagos que reflejan mucho mejor los niveles coliformes fecales como de *Salmonella*. Los colifagos están presentes en números bajos en las heces humanas y de animales homeotérmicos, pero están en número elevado en aguas residuales. Invariablemente estarán en aguas que contienen *E. coli* y por tanto serán indicadores de contaminación fecal. Por ser más resistentes a los factores ambientales y a la cloración que los coliformes y que todas las bacterias en general, su presencia en plantas potabilizadoras indica fallas en algún paso del tratamiento, en especial en la cloración (1,17).

A diferencia de otros organismos vivos, los virus o viriones no crecen o se multiplican por si mismos. Ellos necesitan infectar células para multiplicarse en el interior de las mismas utilizando su maquinaria biosintética. En el caso de los bacteriófagos necesitan bacterias y en el caso de virus animales necesitan células animales. Para detectar el crecimiento de los virus se requiere previamente cultivar las células a las que ellos infectan y dentro de las cuales se multiplican (11,21).

Como se ha mencionado, los virus tienen la capacidad de sobrevivir fuera de la célula hospedera, pero si no encuentran otra célula para poder replicarse rápidamente, mueren porque el virus debe lograr que la célula viva que actúa de hospedador sintetice todos los componentes esenciales que son necesarios para hacer más partículas víricas. La duración del ciclo general de replicación vírica ocupa desde 20 a 30 minutos en muchos virus bacterianos (11, 17, 18). Con los bacteriófagos las fases de este proceso se resumen en siete etapas que son:

1. **Fijación** (adsorción) del virión a una célula susceptible.
2. **Penetración** (inyección) del virión o de su ácido nucleico en la célula.
3. **Fases tempranas de la replicación** en las que la maquinaria biosintética de la célula hospedadora resulta alterada, como preludio a la síntesis de ácidos nucleicos víricos. En esta fase se forman los enzimas víricos específicos.
4. **Replicación** del ácido nucleico vírico.
5. **Síntesis de proteínas** que constituyen las subunidades estructurales de la cubierta del virus.
6. **Ensamblaje** de las unidades estructurales (y de los componentes membranosos en virus con envoltura) y empaquetamiento del ácido nucleico en las nuevas partículas víricas.
7. **Liberación** de la célula de los viriones maduros (11).

Estudios realizados por [Mayta](#). et al. (1998) en las aguas del Río Morococha (Colombia), usando colifagos, desde su origen hasta el límite inferior del parque, abarcando 4km de su recorrido, confirmaron la existencia de una correlación significativa entre los colifagos y grupos coliformes (15).

Entre los primeros estudios que se han efectuado en Guatemala, Estrada W. (2001) confirma el hallazgo de colifagos como indicativo de la presencia de *E. coli* en muestras tomadas en diferentes fuentes de agua de la ciudad capital, como pozos, afluentes en plantas de tratamientos de aguas y ríos que circundan la ciudad (21).

La capacidad lítica en las bacterias se ha empleado para tipificación, clasificación, tratamiento de aguas, desinfección y terapia. Los colifagos se han considerado una alternativa para en el tratamiento de infecciones bacterianas, ya que para cada tipo de bacteria hospedera se encuentra un fago específico, el cual puede ser encontrado siempre que la bacteria esté presente. Para ello, los fagos pueden ser seleccionados y aislados, como un antídoto a partir de aguas negras, heces, suelo o polvo y luego de procesarlos, se purifican para eliminar restos bacterianos (22).

Para colifagos no hay referencias de límites máximos permisibles para consumo o desecho de aguas residuales hacia cuerpos de agua, por lo que solamente se pueden utilizar como indicadores de la presencia de coliformes fecales, especialmente *E. coli*, aún cuando estos últimos pueden o no estar presentes en los cultivos.

3. Parásitos

Los parásitos animales del hombre y de casi todos los vertebrados pertenecen a cinco subdivisiones principales. Estas son Protozoa, Platyhelminthes, Aschelminthes (clase Nematoda), Acanthocephala, Arthropoda (23,24). Los parásitos llamados helmintos forman un grupo grande y heterogéneo de parásitos que incluye los gusanos cilíndricos (nemátodos), la duela parásita (tremátodo), las tenias (céstodos), los gusanos de cabeza espinosa (acantocéfalos), y los gusanos en forma de lengua (linguatúlidos).

Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente, la mínima dosis infecciosa, la baja respuesta inmune y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo (23, 24, 25).

Los miembros del filum Nematoda (nemátodos o gusanos redondos), tienen funciones primordiales en la descomposición y la recirculación de los nutrientes; son numerosos y se encuentran ampliamente distribuidos en el suelo, en sedimentos marinos y de agua dulce. Se han identificado más de 12,000 especies, muchos de ellos microscópicos, que deambulan buscando materia orgánica. La mayor parte de los nemátodos son de vida libre, pero otros son importantes parásitos de plantas y animales, entre ellos se encuentran los siguientes helmintos: uncinarias, oxiuros, triquinias filarias y el gusano redondo intestinal, *Ascaris*, son parásitos del ser humano (14).

Los huevos de *Ascaris* salen del cuerpo humano con las heces y, cuando las condiciones sanitarias son deficientes, llegan al suelo y por arrastre de lluvia llegan a cuerpos de agua o bien si se utilizan excretas humanas como fertilizantes, lo que favorece su supervivencia. Las personas se infectan al ingerir huevos en hortalizas o fruta sin lavar, o que haya sido regada con aguas negras, o por consumo de fuentes de agua contaminadas (14, 26).

Las uncinarias viven en el intestino humano y ponen huevos, que salen del cuerpo por las heces fecales. Las larvas hacen eclosión y se alimentan de bacterias en el suelo. Después de un período de maduración, se tornan infectantes, cuando el huésped camina descalzo sobre el suelo que contenga larvas microscópicas que perforan la piel y pasan a la sangre y luego al intestino. Al igual que *Ascaris*, la uncinaria puede ser arrastrada por el agua de las lluvias hacia lagos, lagunas, ríos y ser ingerida posteriormente por las personas (14,17).

El estudio de los huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la selección de un parásito indicador debido a las limitaciones en la detección a nivel de laboratorio. *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helmintos; las ventajas que presenta como indicadores son las siguientes:

- Persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica.
- Se puede identificar fácilmente.
- El índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto.
- El riesgo de transmisión es alto, debido a la elevada concentración de huevos que se puede encontrar.

Las enfermedades parasitarias ocupan el primer lugar entre las enfermedades de los trópicos húmedos; están muy difundidas y constituyen un serio problema para la salud, debido a que la mayor parte de las larvas se hacen infectantes sólo hasta después de un período de incubación en la tierra. Por tanto, la helmintiasis es más frecuente en personas que habitan en climas cálidos, sin instalaciones sanitarias en zonas rurales (23).

Existe una enorme variedad de parásitos que se alojan y desarrollan en el cuerpo humano, sobre todo en la piel y la vía digestiva, particularmente en los intestinos, impidiendo la absorción de nutrimentos que deberían ser aprovechados por el ser humano para su adecuado crecimiento y desarrollo y para conservar la salud. Aunque el mecanismo y vía de contagio varía, la mayoría de los parásitos se adquieren al ingerir agua, tierra o alimentos contaminados con sus huevos. Además de presentar cuadros de diarrea, suelen provocar hipersensibilidad inmediata o tardía como urticaria, prurito, signos de tipo asmático, dolor abdominal, alteraciones en la mucosa intestinal, o del tubo digestivo especialmente en casos de ascariasis (27).

Los factores de riesgo para contraer parásitos intestinales son:

- a. Tomar agua sin hervir, clorar o que no sea potable. El agua de los ríos, mares, lago y presas tomada directamente, puede ser portadora de muchos parásitos depositados por el excremento de personas y animales que obran en ellos.
- b. Comer alimentos regados con aguas negras, sin desinfectarlos adecuadamente o verduras y frutas con cáscara sin lavar adecuadamente (25, 28).

Todas las personas a cualquier edad pueden ser portadores de parásitos, pero los daños son mucho mayores en los niños debido a que su crecimiento se ve afectado. Esto lo confirman la Dirección General de Estadística (1998) y el Ministerio de Salud Pública (2003) de Guatemala, quienes han determinado que los casos de parasitismo intestinal se encuentran entre las diez primeras causas de morbilidad infantil en el municipio de Amatitlán, y alcanza más del 10 % de casos tratados en los hospitales de Izabal y Petén, especialmente casos en niños entre 1 y 4 años de edad. También señala que los parásitos intestinales más frecuentes en muestras de heces fecales son *Ascaris lumbricoides* y *Uncinaria sp.* (29).

Pérez, et al (2004) encontraron huevos de helmintos en cinco puntos poblados del Río Dulce y Lago de Izabal, a lo largo del año, especialmente en la época de lluvia, debido al

arrastrado causado por las lluvias hacia los cuerpos de agua. Estos resultados concuerdan con informes de estudiantes de la carrera de Química Biológica, quienes reportaron de los centros de salud, entre los años 2002 - 2005, un total de 1360 casos de personas con *Ascaris lumbricoides* y 144 casos de *Uncinaria sp.* en muestras de heces fecales en Izabal; 1524 casos de *Ascaris lumbricoides*, 348 casos de *Uncinaria sp.* en Petén. También reportan a *Trichiuris trichiura* como otro causante de parasitismo intestinal (30,31).

La necesidad de formular criterios y reglamentos que tiendan a limitar la concentración de organismos patógenos en descargas de aguas residuales para reutilización agrícola, han tenido un gran impulso a raíz de la publicación de las “Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura” de la Organización Mundial de la Salud (1989), así como en el artículo 10 del Reglamento de descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores de Guatemala (2005), que prohíbe descargar aguas residuales al suelo que contengan un huevo de helminto por litro para riego no restringido y cinco huevos de helminto por litro para riego restringido, tal y como se indica en la tabla (12, 32, 33, 34).

Límites máximos permisibles de huevos de parásitos helmintos en descargas de aguas residuales a cuerpos de agua.

Condiciones de Reuso	Grupo Expuesto	Nemátodos Intestinales expresado en hh/L
Riego libre o restringido, con contacto directo con la población (cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos deportivos y parques públicos)	Trabajadores Consumidores públicos	< ó = a 1
Riego restringido o con contacto directo con el población (cultivos de cereales, industria, forrajeros, árboles y pastos)	Trabajadores Consumidores públicos	< ó = a 1
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	Público en general	< ó = a 5

Fuente: *Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala, 2005 (12)

*Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL, 1997 (32).

E. Legislación del agua en Guatemala

En nuestro país existen ciertos reglamentos, como el Decreto 90-97 del Código de Salud que establece la prohibición de descarga de aguas contaminadas y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas previamente, pero no es supervisada su ejecución en su totalidad en los diferentes cuerpos de agua (lagos, lagunas, quebradas etc.) por las respectivas municipalidades. En la actualidad se están proponiendo nuevas leyes, algunas ya aprobadas por el Congreso de la República, que completan y mejoran los reglamentos ya existentes, tales como el Reglamento de Descarga de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores, que considera a las municipalidades y a los habitantes del Estado de Guatemala obligados a propiciar el desarrollo económico, tecnológico y social para prevenir la contaminación del ambiente y mantener un equilibrio ecológico, regulando las descargas directas de aguas residuales a cuerpos receptores de agua, sean superficiales, recreacionales, subterráneos o alcantarillados sanitarios, estableciendo los límites máximos permisibles de los parámetros obligatorios antes de ser tratadas (12) (ver anexo 1).

Otra ley que se pretende sea aprobada, es la Ley General de Aguas, que contempla normar el uso y goce del agua. También pretende normar los aspectos relacionados con su conservación y tiene por objeto que el agua soluciones las necesidades sociales, ambientales y económicas de todos los guatemaltecos, y para ello organizar un sistema de licencias o derechos de aprovechamiento, uso, goce y conservación de los recursos hídricos y del vertido de aguas contaminadas para evitar, detener o mitigar del deterioro de los recursos hídricos, adoptando medidas de conservación, protección y restauración de las cuencas hidrográficas que garanticen la sostenibilidad de dicho recurso, ya que todo cuerpo de agua le pertenece al Estado y es del dominio público. Por lo tanto, debe ser regulado su uso y conservación emitiendo licencias de aprovechamiento del agua para agricultura, acuicultura, recreación y turismo y para disposición de vertido de aguas residuales y una retribución económica para uso y vertidos de desechos hacia las fuentes o cuerpos de agua.

Dentro de los criterios que propone esta ley para ser evaluados, se encuentran los niveles de coliformes totales y para realizar los métodos de análisis y muestreo deben emplearse los métodos establecidos por las Normas de COGUANOR, o en ausencia de las mismas, los establecidos la Asociación Americana de Salud Pública, la Asociación Americana de Obras de Agua y la Federación de Ambiente Acuático (34).

En el país no se cuenta con una norma microbiológica específica para cuerpos naturales de agua y las normas de calidad en Guatemala, COGUANOR, en sus artículos NGO 29001, NGO 29005 Y NGO 29011 sólo indican límites máximos permisibles de bacterias coliformes para agua potable, agua de pozos o manantiales y de desecho libre, pero no especifica valores para aguas recreativas o cuerpos grandes de agua y ni contempla entre sus normas la regulación de colifagos y de huevos de parásitos helmintos (35).

Por ello, las normas anteriores podrían ser utilizadas como último recurso para determinar si el agua de los lagos en Guatemala, es apta para el consumo humano, teniendo en cuenta que estos cuerpos de agua no están recibiendo ningún tipo de tratamiento

Otro documento que incluye el control de agua en lagos es el Manual de Indicadores del Ambiente y los Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente de Guatemala (2003), que define un total de 39 indicadores distribuidos en varios temas que incluyen la calidad del agua de consumo, agua residual y rutas de evacuación de los desechos y reciclaje, en el que se consideró como un indicador de calidad del agua a las bacterias coliformes. Este manual fue elaborado para que los procedimientos de recolección, actualización, mantenimiento, uso y almacenamiento de información ambiental se lleven a cabo por varias dependencias así como para que el proceso de elaboración, registro y divulgación de información estadística basada en indicadores ambientales (36).

IV. JUSTIFICACIÓN

Debido a que no existen fuentes de abastecimiento de agua potable en las comunidades de las cuencas de los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá, éstas se ven obligadas a usar el agua de los lagos; sin embargo estas agua se encuentran contaminadas con altos niveles de nutrientes y materia fecal, proveniente de descargas domiciliarias, agroindustrial y ganadera, entre otras.

Estos lagos son tres de los cuerpos de agua más importantes del país, no sólo por su extensión, sino por el alto potencial económico, turístico y educativo que poseen. Además representan la fuente de subsistencia para varias comunidades asentadas en sus márgenes así como áreas con gran biodiversidad. Teniendo en cuenta la importancia de la conservación del buen estado de estos lagos, sobre todo para quienes viven de ellos, es necesario seguir con investigaciones que permitan evidenciar cómo evoluciona la contaminación de los mismos, ya que su consumo ha generado altos porcentajes de morbilidad y mortalidad en la población, especialmente la infantil (1, 29, 30).

Existen entidades que se dedican a elaborar programas para la conservación de estos tres cuerpos de agua; algunos ya tienen planes específicos para reducir la contaminación microbiológica, como el caso del lago de Amatitlán. Sin embargo, estos solo evalúan presencia de bacterias coliformes, lo cual llega a ser un dato bastante general. Empleando otros indicadores de contaminación como colifagos y huevos de parásitos helmintos se puede obtener resultados más completos y relacionarlos con la existencia de coliformes fecales y *E. coli*.

Por tanto, con este trabajo se pretende determinar, de una forma más completa, el nivel de contaminación que existe en estos lagos.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar el grado de contaminación microbiológica en los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá utilizando como indicadores de microbiológicos a bacterias coliformes fecales, *E. coli*, colifagos y huevos de parásitos helmintos.

B. Objetivos Específicos

1. Determinar el nivel de contaminación por colifagos en los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá por medio de conteo en ensayo de placas de lisis.
2. Cuantificar la cantidad de coliformes fecales por medio del ensayo de filtración de agua, que se encuentran presentes en muestras de agua de los tres lagos, para conocer el grado de contaminación fecal de los mismos.
3. Cuantificar la cantidad de huevos de parásitos helmintos por medio del ensayo de sedimentación, presentes en muestras de agua de los tres lagos y así determinar el grado de riesgo que significa para el consumo humano.
4. Determinar la presencia de *E. coli* por medio del ensayo de filtración de agua en muestras de agua de los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá para constatar el riesgo de afecciones en personas por su consumo.
5. Establecer si existe relación en la presencia de *E. coli* con la presencia de colifagos que se encuentren en las muestras de agua de los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá.

VI. HIPÓTESIS

Los niveles de bacterias coliformes, *E. coli*, colifagos y huevos de parásitos helmintos serán variables en los lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá, dependiendo de la época.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo de trabajo

Las muestras de agua obtenidas de los lagos de Amatitlán, Izabal y Petén Itzá.

2. Muestra:

Se trabajó con 62 muestras para determinación y cuantificación de coliformes fecales y *E. coli*, 62 muestras para determinación y cuantificación de colifagos, 62 muestras para determinación y cuantificación de huevos de helmintos y un total de 16 muestras de agua estéril como controles.

B. Recursos Humanos:

Tesista: Br. Claudia María Galindo García

Asesores: Dra. Karin Herrera y MSc. Hayro García

C. Materiales

1. Equipo

- Autoclave
- Balanza
- Bomba para vacío
- Cámara de Quebec
- Campana de flujo Laminar
- Centrífuga
- Equipo portátil para medir pH y temperatura
- Estufa eléctrica pequeña
- hieleras
- Incinerador
- Incubadora
- Mechero bunzen
- Microscopio con objetivos 4X, 10X, 20X, 40X, 100X
- Refrigeradora

- unidades de filtración
- Vortex

2. Cristalería

- 1 beaker de 1000 mL
- 2 caja de cubreobjetos de
- 2 caja de portaobjetos
- 3 erlenmeyer con tapón de rosca de 250 mL
- 2 erlenmeyer sin tapón de rosca de 250 mL
- 3 frascos color ámbar con tapón de rosca para guardar reactivos
- 20 frascos de vidrio con tapa de rosca
- 3 goteros color ámbar
- 2 kitazatos de 1000 mL
- 4 kitazatos de 500 mL
- 1 probetas de 1000 mL
- 15 probetas de 50 mL
- 50 tubos cónicos con capacidad de 15 mL
- 1 varillas de agitación de vidrio

3. Materiales varios

- 10 bolsas plásticas grandes
- 30 bolsas plásticas pequeñas con cierre hermético
- 5 botes plásticos con capacidad de 1 L
- 5 botes plásticos con capacidad de 5 L
- 1 caja de guantes plásticos desechables
- 60 cajas de petri plásticas de 50 x 100 ml
- 1 espátulas de metal
- 100 frascos colectores estériles
- 2 gradilla de metal
- 1 gradilla plásticas

- 1 macro pipetor con bulbo de hule
- 60 membranas de nitrocelulosa para filtración con poro de diámetro de 0.45
- 1 rollo de parafilm
- 1 pinzas pequeñas de metal
- 1 pipeta automática de 100 microlitros
- 1 pipeta automática de 1000 microlitros
- 1 pipeta plástica de 25 mL
- 75 pipetas pasteur plásticas
- 1 probeta plástica de 1000 mL
- 1 rollo de algodón
- 1 rollo de papel aluminio
- 1 rollo de papel mayordomo
- 1 tijeras
- 60 tips para pipetas automáticas de 100 y 1000 microlitros
- 2 unidades de hielo seco

4. Reactivos

- Acetato de Etilo
- Acetato de Sodio
- Ácido Acético
- Agar Chromocult para coliformes
- Agar Plate Count
- Agar Tripticasa Soya
- Alcohol al 70 %
- Azul de Metileno
- Caldo Tripticasa Soya
- Cloro
- Cloruro de Magnesio
- Cloruro de Sodio
- Detergente en polvo

- Lugol
- Sulfato de Zinc
- Un garrafón de agua destilada

5. Papelería

- Cuaderno de trabajo
- Diskets
- Folders tamaño carta
- Ganchos para fólder
- Hojas papel bond tamaño carta
- Lapiceros
- Lápices
- Marcador indeleble punto fino
- Marcador indeleble punto grueso
- Rollo de maskin tape
- Tinta para impresora

6. Microbiológicos

- *E. coli* ATCC 25922

D. Procedimiento

1. Toma de Muestra

Para la toma de muestras de agua en lagos se procedió de la siguiente forma:

- 1.1 Elegir y localizar el lugar de donde se desea la muestra, para llegar a los puntos de muestreo se utilizó lancha.
- 1.2 Se abrió el recipiente de donde se desea tomar la muestra y rápidamente se introdujo en el agua contra la corriente. En caso de no haber corriente, se movió horizontalmente el recipiente en el agua.
- 1.3 Al terminar se cerró el recipiente rápidamente y se rotuló con el nombre del lugar, hora y fecha de toma de muestra (31).

Se tomaron muestras de agua en recipientes colectores estériles con capacidad de 100 mL para analizar bacterias coliformes fecales y 100 mL para el análisis de colifagos. En cuanto a las muestras para parásitos se recolectaron en recipientes plásticos no estériles, con capacidad para 5 litros. Previo a tomar las muestras se midió la temperatura y pH en cada punto de muestreo.

Todos los recipientes se colocaron en hielera con hielo para mantener las muestras a una temperatura aproximada de 4°C. (21), y luego fueron transportadas al Laboratorio Microbiológico de Referencias –LAMIR-, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, en un plazo de tiempo de 24 horas para ser procesadas y analizadas.

Se analizó para cada punto de muestreo:

- a. Bacterias coliformes fecales y *E. coli* por el método de Filtración de 100 mL de agua (1, 3).
- b. Colifagos, empleando los métodos de Filtración de 100 mL de agua y Lisis de Placas en doble capa de agar de tripticasa soya (13, 18, 21).
- c. Presencia de huevos de *Ascaris lumbricoides*, *Uncinaria sp.* y *Trichiuris trichiura*, parásitos helmintos considerados como indicadores de contaminación a nivel mundial, utilizando el método de Sedimentación de Parásitos con sulfato de zinc y posterior observación al microscopio (18).

2. Análisis de muestras

a. Análisis microbiológico

i. Recuento de coliformes fecales

Después de la toma de muestras y traslado al laboratorio, se realizó el análisis de bacterias coliformes fecales, por el método de filtración por membrana. Este método filtra un volumen determinado de agua a través de una membrana que retiene las bacterias en su superficie. Algunas de las ventajas que tiene este procedimiento son que los resultados se

obtienen más rápidamente, porque el número de coliformes puede calcularse en menos de 24 horas; ahorra el uso de cristalería y brinda resultados directos. Entre las desventajas de este método es que el agua puede contener sustancias tóxicas que pueden ser absorbidas por la membrana (3).

El conteo de bacterias coliformes fecales y *E. coli* se hizo por el método de filtración. Después de coleccionar 100 mL de muestra, se colocaron en hielera con bastante hielo y se trasladaron al laboratorio en un plazo no mayor de 24 horas (38).

En el laboratorio:

1. Preparación de las diluciones necesarias, en ambiente estéril, con agua desmineralizada, estéril.
2. Armado del equipo de filtración en la campana de flujo laminar.
3. Se colocaron con pinzas estériles, la membrana de filtración y el vaso para filtrar.
4. Medir 100 mL de la dilución mayor y verter en el vaso de la unidad de filtración.
5. Inicio del proceso de filtración, manteniendo la bomba de vacío en 5 libras de presión.
6. Apagar el motor de la bomba, al terminar de filtrar la muestra, quitar el vaso de la unidad de filtración y con pinzas estériles retirar la membrana de filtración.
7. Se colocó la membrana de filtración en el medio de cultivo Chromocult, y se dejó la caja hacia abajo en incubación 24 horas a 36.5°C.
8. Observación y conteo de las colonias que crecieron de la siguiente forma:
 - a. Coliformes totales: colonias color rosado y violeta.
 - b. Coliformes fecales: colonias color violeta.
 - c. *E. coli*: colonias color violeta confirmadas con presencia de Indol.

El mismo procedimiento se utilizó para la muestra control que se realizó con agua estéril.

ii. Recuento de colifagos

Después de la toma de muestras y traslado al laboratorio, se realizó el análisis de colifagos por el método de lisis de placas. Cuando una partícula vírica inicia una infección sobre una capa de células bacterianas que están creciendo sobre una superficie, puede

ocurrir la aparición de una zona de lisis o inhibición de crecimiento que origina un área clara sobre el césped de células en crecimiento. A este efecto se le denomina placa de lisis o calva, originada por el proceso de replicación iniciado por un virión (11,15).

Este procedimiento es más económico para trabajos de investigación, pues la otra forma para observar la presencia de viriones es por medio del microscopio electrónico, instrumento que no se encuentra presente en todos los laboratorios, es demasiado voluminoso para estudios rutinarios, y altamente costoso (11).

La determinación y cuantificación de colifagos se hizo por el método de lisis de placas de lisis o calvas en doble capa de agar. Después de obtener una muestra de 100 mL de agua en un recipiente estéril, se colocó en hielera, con hielo para mantener la temperatura a 4°C. Luego se transportó al laboratorio.

En el laboratorio

1. Se inoculó una o dos colonias de *E. coli* ATCC 25922 en 50 mL de caldo tripticasa soya.
2. Se incubó por 2 horas a 36.5°C. dando agitación ocasional, esto es para obtener un caldo en fase logarítmica de crecimiento, donde la unión del fago- bacteria es mejor y se obtienen mejores resultados, porque en este punto el título de viriones activos se incrementa notablemente permitiendo mayor infección del virus en la bacteria.
3. Luego se vertió 7.5 mL de agar tripticasa soya a cada caja de petri y dejar solidificar. Sobre esta capa se agregará la muestra filtrada, el caldo con *E. coli*. ATCC 25922 y otra capa de agar, para formar una doble capa y la muestra quede entre las dos.
4. Se prepararon las diluciones necesarias para las muestras con agua desmineralizada estéril.
5. Se realizó el procedimiento de filtración tal y como se describe en los pasos 2 al 6 para la metodología de cuantificación de bacterias coliformes.
6. En un tubo de ensayo se agregó 1 mL del cultivo de *E. coli*. ATCC 25922 y 1 mL de la muestra filtrada, mezclar y se colocó en una de las cajas de petri que tiene una

capa de agar tripticasa soya ya solidificado. Rotar para que se distribuya homogéneamente.

7. Agregar 7.5 mL de agar tripticasa soya (45° C aproximadamente) y rotar hasta que obtener una mezcla homogénea y dejar solidificar.
8. Colocar las cajas con la tapa hacia abajo e incubar a 36.5° C. por 24 horas.

Al cabo de este tiempo, se contaron los halos de inhibición de crecimiento de la bacteria que tengan como mínimo 1mm de diámetro. Multiplicar por el factor de dilución y así se obtiene la cantidad de fagos en la muestra inicial. Los resultados se expresan en unidades formadoras de placas (UFP) (21, 22, 29).

Se debió realizar un control, utilizando el caldo tripticasa soya con *E. coli* ATCC 25922 en el agar tripticasa soya para ver el crecimiento de esta bacteria.

i.i.i Recuento de parásitos helmintos

Después de la toma de muestras y traslado al laboratorio, se realizó la determinación y cuantificación de huevos de parásitos helmintos por el método de sedimentación. Esta es una cualidad de los huevos de parásitos que se puede aprovechar, pues debido a su peso sedimentan en el fondo de los lagos y al tomar una muestra sedimentan junto con la materia orgánica presente en el agua (39).

La determinación y cuantificación de huevos de parásitos helmintos se hizo por el método de sedimentación. Se colectaron 5 litros de muestra de agua en un recipiente limpio y se transportaron al laboratorio con hielo, en hielera.

En el laboratorio:

1. Se agitó la muestra y se midió 1 litro, vertiéndolo en un recipiente plástico o de vidrio con tapadera. Se dejó sedimentar durante toda la noche o hasta por una semana.
2. Se retiró el sobrenadante, después de este tiempo y descartándolo, cuidando no tocar el sedimento.

Proceso de Sedimentación:

3. Se resuspendió el sedimento (100-200 mL de muestra) con agitación y se trasladó a tubos cónicos. Se lavó el recipiente con 25-50 mL de agua destilada, que también se colocan en tubos para centrifugar.
4. Los tubos con el sedimento se centrifugaron a 2500 r.p.m por 15 minutos.

Proceso de Clarificación:

5. Se aspiró el sobrenadante con una pipeta pasteur y se descarta. Recordar tener cuidado con no tocar el sedimento.
6. Se agregó al sedimento el buffer acetato-acético pH 4 en proporción 1:1 al volumen del sedimento.
7. Se adicionó también acetato de etilo en proporción 2:1 en relación con el volumen de sedimento. Se mezcló cuidadosamente con un vortex, por varios minutos.
8. Se centrifugó a 2500 r.p.m. por 10 minutos.
9. Se descartó el sobrenadante y resuspensión del sedimento con 5 mL o 5 X el volumen del sedimento con una solución saturada de sulfato de zinc al 33 %. Medir el volumen (V) del producto.
10. Se transfirió una porción de 100 microlitros del producto a un portaobjetos y se agregó una gota de colorante azul de metileno cubriéndose con cubreobjetos.
11. Se colocó la muestra en el microscopio y se observó en aumentos 10X, 40X y 100X.
12. El número total de huevos (N) recuperados de la muestra se determinó por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{XV}{P(1.0)}$$

Donde

- | | |
|-------|--------------------------------|
| X = | Número de huevos observados |
| P = | Volumen de sedimento observado |
| V = | Volumen total de sedimento |
| 1.0 = | Volumen de muestra |

El volumen mínimo de muestra a coleccionar es de 1.0 litro y en cuanto a la sensibilidad del método mejora de tres formas:

1. si se incrementa el volumen de muestra coleccionada
2. al incrementar la porción (P) que se observa al microscopio
3. si se incrementa el volumen de muestra puesta a sedimentar (21,39)

E. Diseño experimental de la investigación

1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño estratificado (anidado o jerárquico) en tres etapas, siendo éstas lagos, puntos de muestreo y época del año.

Por lo tanto el análisis de datos se hizo, relacionando para cada estación, por punto de muestreo correspondiente a cada uno de los lagos investigados.

2. Muestra y diseño de muestreo

Se seleccionaron, por conveniencia, 5 puntos denominados críticos de muestreo en cada uno de los siguientes lagos: Izabal y Petén Itzá y 2 puntos considerados críticos por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán en dicho lago.

En total se recolectaron en los 3 lagos, un total de 62 muestras para cada uno de los parámetros a analizar, en los tres lagos, teniendo en cuenta que para los parámetros de coliformes fecales y colifagos se realizaron 16 muestras como controles respectivos con agua estéril y cepa de *E. coli* ATCC 25922.

El diseño de los muestreos fue en base a las estaciones climáticas, por lo cual se realizaron dos muestreos en época seca y dos muestreos en época de lluvia, teniendo en cuenta dejar un mes y medio de diferencia entre cada uno de los muestreos

3. Análisis de resultados

Análisis de Varianza para cantidad de bacterias coliformes fecales, colifagos y huevos de helmintos que se realizaron con gráficas, cuadros y tablas para cada una de las variables.

4. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo seleccionados para ser analizados en esta investigación fueron:

Lago de Amatitlán: 1) centro del lago sección este
2) centro del lago sección oeste

Lago de Izabal: 1) frente al Castillo de San Felipe
2) centro del lago
3) El Estor
4) San Marcos
5) Punto medio donde descargan las aguas del río Polochic

Lago Petén Itzá 1) Santa Elena
2) San Benito
3) San Andrés
4) San Miguel
5) Desembocadura del río Ixlú

Estos puntos de muestreo se localizan en los mapas que se encuentran en los Anexos 2, 3 y 4.

VIII. RESULTADOS

Tomando como base trabajos de reconocimiento previo, se establecieron los puntos de muestreo para cada uno de los lagos, incluyendo afluentes importantes, presencia cercana de poblados y el impacto que tienen en los lagos.

Para el lago de Amatitlán se escogieron dos puntos: el centro del lado Este identificado como punto A y el centro del lado Oeste identificado como punto B, de donde se obtuvieron tres muestras durante la estación seca y tres muestras durante la época de lluvia (Anexo 2).

En el lago de Izabal se escogieron cinco puntos de muestreo, que se identificaron como punto 1, la desembocadura del río San Marcos; punto 2, donde desembocan los dos ramales del río Polochic; el punto 3, correspondió al Estor; el punto 4, en el centro del lago y el punto 5, frente al Castillo de San Felipe, realizándose 2 muestreos en época seca y dos muestreos en época de lluvia (Anexo 3).

Los puntos que se escogieron para muestrear en el lago Petén Itzá fueron cinco: identificados como punto 1, la desembocadura del río Ixlú; punto 2, frente a San Andrés; el punto 3, fue Santa Elena; punto 4, fue San Benito y el punto 5, fue San Miguel, de donde se recolectaron 3 muestras durante la época seca y 3 muestras durante la época de lluvia (Anexo 4).

Se recolectaron en total 62 muestras de agua a las que se les hizo análisis y recuentos de coliformes fecales, *E. coli*, huevos de helmintos y colifagos. Por ser recuentos bacterianos se trabajó con el logaritmo (base 10) de los datos originales, obteniéndose los valores de probabilidad “p”. Posteriormente se les aplicó un análisis de varianza anidado-estratificado: para los tres lagos, la relación lago-época y la relación con los puntos de muestreo-época-lago, aplicándose posteriormente la prueba de la mínima diferencia de Fisher (LSD) confirmando los resultados obtenidos, datos que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de los valores de probabilidad “p” de los indicadores microbiológicos de contaminación presente en los Lagos Amatitlán, Izabal y Petén Itzá.

INDICADORES NIVELES	COLIFORMES FECALES	COLIFAGOS	PARÁSITOS HELMINTOS
lagos	0.0103	0.0211	0.0237
época lagos	0.2309	0.0015	0.5948
puntos época lagos	0.1286	0.8635	0.0924

Nota: Por ser recuentos bacterianos se trabajó con el logaritmo (base 10) de las respuestas, obteniéndose los valores de probabilidad “p”. Todos los datos son experimentales

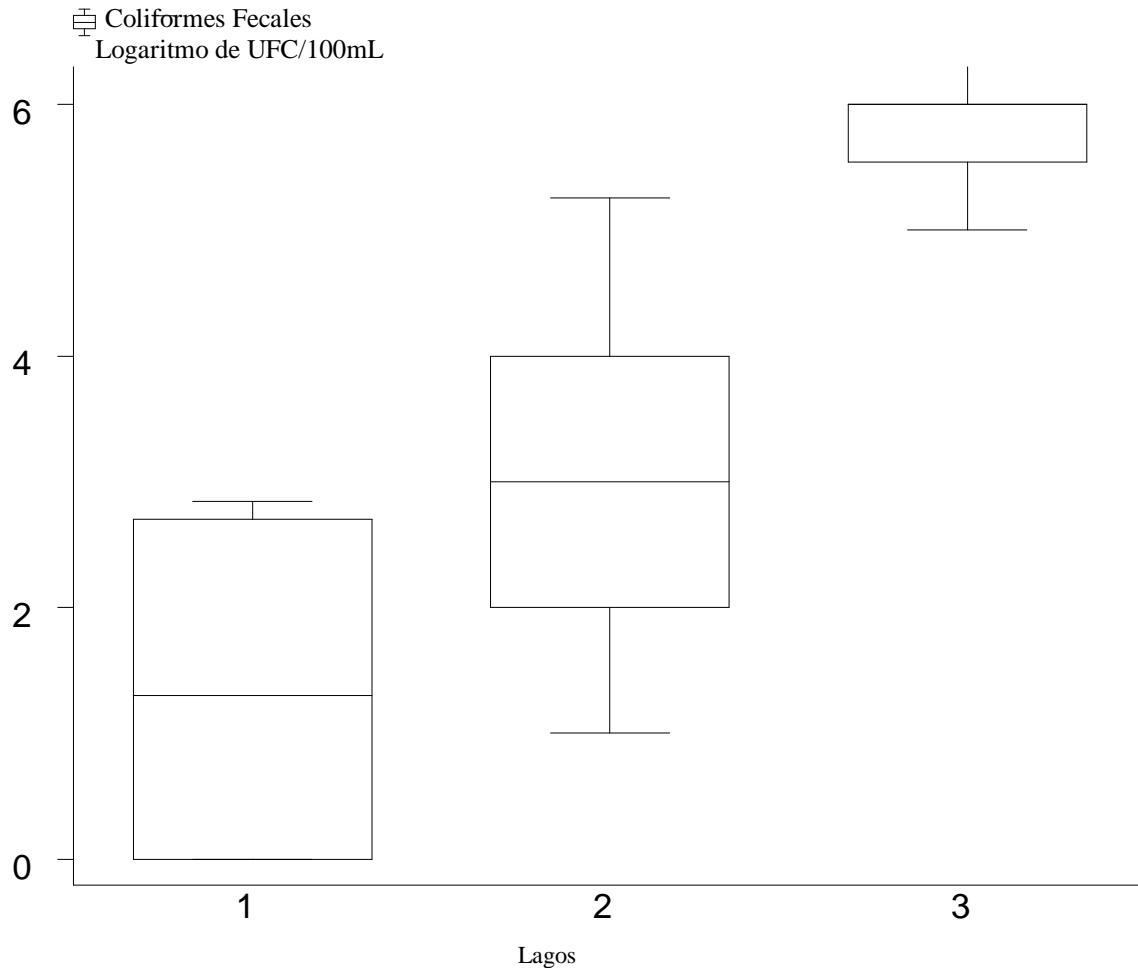
Valores de probabilidad “p”: >0.005 = no existe diferencia significativa entre variables

<0.005 = existe diferencia significativa entre variables

Los datos de la tabla muestran la probabilidad de que si son mayores a 0.05 no existe diferencia significativa entre las variables analizadas y si son menores de 0.05 los datos presentan diferencia significativa. Es así como se observa que la presencia de indicadores de contaminación **1) es diferente en cada uno de los lagos, 2) que no hay mayor diferencia entre las épocas de muestreo y 3) que los puntos tampoco presentan mucha diferencia entre cada uno.**

En base a la tabla 1 se construyeron las gráficas 1, 2 y 3 en donde 1 corresponde al lago de Izabal, 2 identifica al lago Petén Itzá y 3 al lago de Amatitlán. Los resultados que aparecen dentro de la caja indican el 50 % de las muestras, que presentan la mediana de recuentos, la línea del extremo superior señala que el 25% de los resultados tienen recuentos que sobrepasan a la mediana y la línea del extremo inferior indica recuentos que se encuentran por debajo de la mediana.

Gráfica 1. Relación lagos, épocas y lugares de muestreo con coliformes fecales



1 Lago de Izabal

2 Lago Petén Itzá

3 Lago de Amatitlán

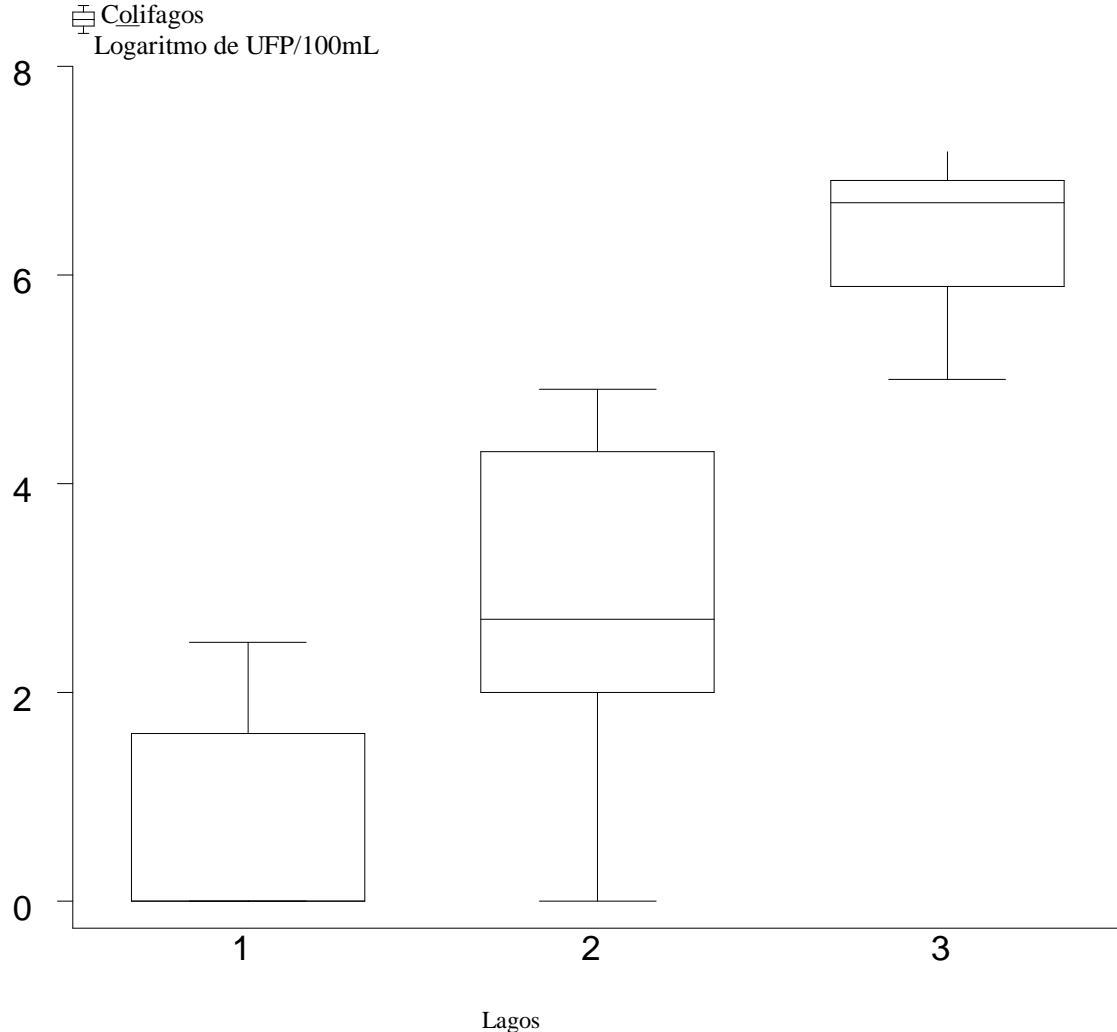
UFC = Unidades formadoras de colonias

mL = mililitros

Fuente: Datos experimentales

La gráfica muestra los resultados de 6 muestreos a lo largo de un año, mostrando que en los tres lagos hay presencia de bacterias coliformes fecales sin que exista diferencia significativa entre las épocas de muestreo (seca o lluviosa) ($p=0.2309$). En el lago de Amatitlán (3), la mayor parte de los recuentos se mantienen dentro de la mediana de valores encontrados a lo largo de las épocas, siendo muy pocos los que salen del valor por encima de la mediana, pero existe diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0103$), siendo el lago de Amatitlán el que presenta los mayores recuentos (3), el lago de Izabal (1) presenta los menores recuentos y sus resultados se encuentran dentro de la mediana. No existe diferencia significativa entre los lugares dentro de los lagos ($p=0.1286$), ya que en su mayoría todos son poblados con drenajes hacia los lagos.

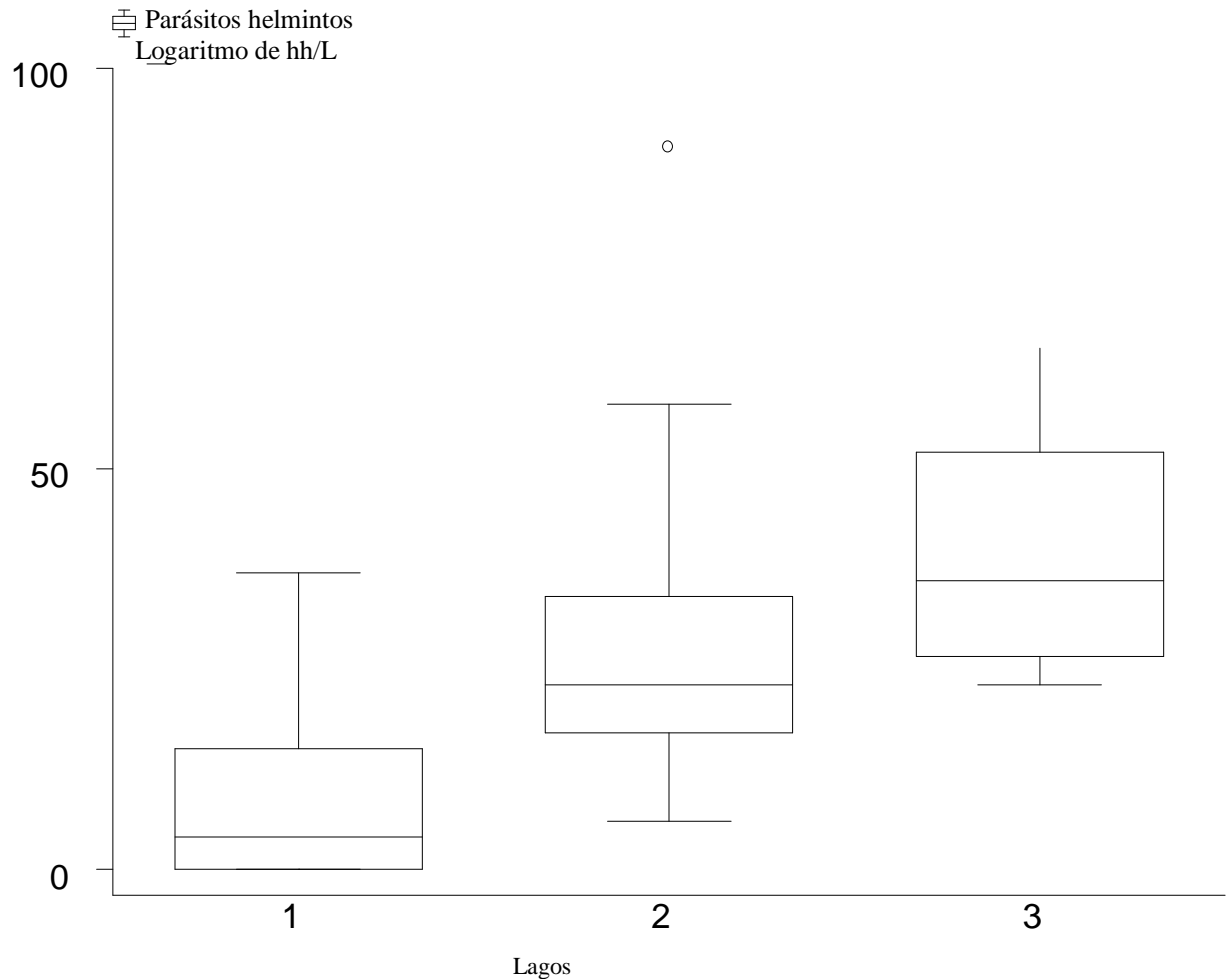
Gráfica 2. Relación lagos, épocas y lugares de muestreo con Colifagos



1 Lago de Izabal
 2 Lago Petén Itzá
 3 Lago de Amatitlán
 UFP = Unidades formadoras de placas
 mL = mililitros
 Fuente: Datos experimentales

En la gráfica 2 se muestran los resultados de los muestreos durante la época seca y lluviosa para colifagos en los tres lagos. Existe diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0211$) así como entre las épocas ($p=0.0015$), siendo el lago de Amatitlán el que presenta mayores recuentos a lo largo del tiempo de muestreo en los dos puntos muestreados. La mayor parte de datos se mantiene dentro de la mediana de valores reportados para colifagos (3) En el lago de Izabal (1) la mayoría de recuentos son los menores y los que sobresalen de la mediana son pocos datos. En el lago Petén Itzá (2) recuentos que varían desde cero hasta muy numerosos para contarse y son en menor cantidad los que se mantienen dentro de los valores de la mediana. No existe diferencia significativa entre lugares dentro de los lagos ($p=0.8635$), ya que en su mayoría todos los lugares presentan existencia de colifagos.

Gráfica 3. Relación lagos, épocas y lugares de muestreo con recuento de parásitos helmintos



- 1 Lago de Izabal
- 2 Lago Petén Itzá
- 3 Lago de Amatitlán

Hh= huevos de helmintos

L = litro

Fuente: Datos experimentales

La gráfica 3 muestra los resultados de huevos de helmintos. Se observa la diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0237$), siendo el lago de Izabal (1) el que muestra menores recuentos y Amatitlán (3) los recuentos mayores. No existe diferencia significativa entre las épocas seca o lluviosa ($p=0.5948$), ni entre lugares dentro de los lagos ($p=0.0924$). En Amatitlán (3) se encontraron huevos de helmintos durante todo el muestreo en los dos puntos en valores altos. En Izabal (1), aunque hay una buena cantidad de datos que están dentro de la mediana, hay otros que salen por encima de la median y también encontramos valores de cero. El lago Petén Itzá (2) es constante la presencia de huevos de parásitos y no hace diferencia entre puntos muestreados, pues todos son centros poblados con mal servicio de tratamiento de aguas negras y todo se vierte a las aguas del lago.

Tabla 2. ASOCIACION ENTRE COLIFAGOS Y *E. coli*

Prueba	Probabilidad
Pearson $\chi^2(1)$	<0.0001
Índice Kappa	0.6407

La tabla 2 muestra la relación que existe entre la presencia de colifagos y la presencia de *E. coli*. Estos datos fueron tomados de los datos iniciales contando la cantidad de datos positivos para cada una de las dos pruebas aplicándoseles la prueba de Pearson, y el índice de Kappa, utilizada para confirmar la concordancia entre los resultados de ambas variables. En este caso el valor de Kappa entre más cercano a 1 indica mayor concordancia entre los resultados de ambas variables, mostrando que existe asociación entre la presencia de colifagos con la presencia de *E. coli*

Los resultados iniciales de los muestreos pueden consultarse en los cuadros 1, 2, 3 ubicados en Anexos 5, 6 y 7.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de los lagos es importante para conocer el impacto que están teniendo las diversas actividades que se realizan alrededor de los mismos y poder dirigir mejor programas de calidad y de salud. La contaminación es común en sectores donde se realizan actividades agrícolas debido a la utilización que se le da a la tierra, que va desde usos de rastrojo, drenajes, utilización de aguas con fines de recreación hasta la construcción de viviendas en los terrenos adyacentes al cuerpo de agua, creando condiciones favorables para la supervivencia y mantenimiento de los microorganismos entéricos (19,20,45).

Se debe poner especial atención a los recuentos de coliformes fecales, colifagos, huevos de helmintos y presencia de *E. coli*, que son los indicadores de calidad por excelencia, y recordando que entre mayor es la población humana y si su sistema de drenajes y disposición excretas está dirigido hacia los lagos, mayor será la presencia de tales indicadores de contaminación.

Como se mencionó en los antecedentes, se considera que los coliformes fecales son los que se deben utilizar para evaluar la calidad de aguas superficiales y evaluación de eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales, recurriendo a coliformes totales si no hay condiciones para cuantificarse los coliformes fecales (1,11). En los lugares muestreados se encontraron coliformes fecales, indicando presencia de desechos de aguas domiciliarias hacia los lagos.

En base a los resultados y la aplicación del análisis de varianza estratificado se determinó que hay diferencias entre los tres lagos, siendo Amatitlán el lago más contaminado por causa de aguas residuales provenientes de la capital y municipios aledaños al mismo. Por otro lado es el lago que presenta mayor población en sus riberas, las cuales no cuentan con un buen sistema de drenajes municipales y cuyas aguas son utilizadas para consumo por los pobladores (21).

Los recuentos de coliformes fecales y colifagos presentaron variabilidad, dependiendo del lago, resultados con diluciones máximas de 10^5 en el lago de Amatitlán, observándose que los dos puntos muestreados se encuentran niveles elevados de contaminación microbiológica, siendo mayores los recuentos de bacterias coliformes fecales (Anexo 56,7).

En el lago de Amatitlán, los recuentos son muy elevados, porque indican que la contaminación microbiológica está presente hasta la parte central de los lagos, pero si se

comparan con datos de años anteriores se observa que la contaminación ha disminuido por acción de los planes de manejo del lago y sus microcuencas (41) (Anexo 5). Cabe mencionar que únicamente este lago cuenta con hay plantas procesadoras de aguas negras y de oxigenación que han contribuido al saneamiento del lago, permitiendo que los niveles de contaminación por bacterias coliformes totales y fecales hayan disminuido, aún así los recuentos son los más altos de los tres lagos.

En la gráfica 2 se observa la relación que existe con los colifagos, los recuentos más altos se encuentran en el lago de Amatitlán ($p=0.0211$) que están presentes en los dos puntos de muestreo y en las dos épocas de muestreo con recuentos muy elevados del orden de 10^4 y 10^5 , indicando hay diferencia significativa entre las épocas ($p=0.0015$), ya que fue mayor en época seca posiblemente por mayor uso del agua en forma recreativa y doméstica. La presencia de colifagos en los tres lagos indica la presencia de virus que están en bacterias coliformes a lo largo de las dos épocas de muestreo (Anexo 5).

La gráfica 3 indica la relación de huevos de parásitos helmintos en los tres lagos, donde existe diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0237$), siendo Amatitlán el que presenta los mayores recuento. No existe diferencia significativa entre la época seca o lluviosa ($p= 0.5948$) o entre los dos puntos muestreados ($p=0.0924$) (Anexos 5)

Principalmente se encontraron huevos de *Ascaris lumbricoides* en los puntos de muestreo cercanos a poblaciones (Anexo 5), debido a que son arrastrados por lluvias o por aguas con excretas que contienen parásitos (47). Dados los recuentos en los muestreos y al relacionarlos con los límites máximos permisibles de huevos de parásitos helmintos a cuerpos de aguas, no es recomendable utilizarla para riego o consumo humano (12). Así mismo se encontró presencia de *E. coli* en los dos centros del lago (Anexo 5).

El lago de Izabal es el menor contaminado ($p=0.0103$), posiblemente por tener pocas poblaciones cercanas a sus riberas, la existencia de grandes extensiones de tierra dedicadas al cultivo y pastizales para ganado; la fuerza de la corriente del agua proveniente del río Polochic cuyo caudal impulsa el movimiento del agua del lago hacia el río Dulce, que es el efluente del lago, lo que permite que una parte de los microorganismos contaminantes sean arrastrados por la corriente, hacia el mar . Así mismo influye la extensión del lago que supera por más de 600 km^2 a los otros dos lagos muestreados (2, 7, 16).

Los recuentos de coliformes fecales no presentaron variabilidad dependiendo del lugar muestreado ($p=0.2309$) y de la época de muestreo ($p=0.1286$) resultados con diluciones máximas 10^1 , posiblemente porque a lo largo del período de recolección de muestras, el clima fue inestable marcado por estación muy seca y larga e invierno con períodos de sequía (Anexo 6).

Los puntos El Estor, Castillo de San Felipe, y la desembocadura del río San Marcos que presentan los mayores recuentos de las variables coliformes fecales, colifagos y huevos de helmintos (Anexo 6), esto es debido a que las aguas residuales domésticas se vierten directamente al agua. Un resultado interesante es que no hay presencia de coliformes fecales en el centro del lago, lo que indica que no hay contaminantes recientes provenientes de heces fecales por la corriente y el arrastre de agua en el lago, (42).

En la gráfica 2 se observa la relación que existe con los colifagos. Existe diferencia marcada ($p= 0.0211$) entre los tres lagos, En el centro del lago no se encontraron en ninguna de las épocas de muestreo, pero se encontraron dos veces en El Castillo de San Felipe (dilución máxima de 10^1) durante la época de lluvia, dos veces en la desembocadura del río San Marcos (dilución máxima de 10^1), una época seca y otra en época de lluvia, dos veces en el punto intermedio de la desembocadura del río Polochic (dilución máxima de 10^1) y en El Estor tres veces (dilución máxima de 10^1) dos veces en época seca y una en época de lluvia. Los recuentos altos están cercanos a los sitios poblados y el único lugar donde no hay presencia de colifagos es el centro del lago de Izabal el cual es sitio de arrastre continuo de agua por la corriente que genera el afluente de este lago (Anexos 6).

También hay diferencia entre las épocas muestreadas ($p=0.0015$) de acuerdo a la Gráfica 2. Petén Itzá los en época lluviosa según resultados obtenidos que se muestran en el cuadros 2, posiblemente al aumentar la carga de colifagos por arrastre del volumen de agua hacia el lago (Anexos 6).

La Gráfica 3 indica la relación de huevos de parásitos helmintos en los tres lagos, donde existe diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0237$), siendo el lago de Izabal el que presenta la menor cantidad de recuentos. También muestra que no existe diferencia significativa durante las épocas seca o lluviosa ($p=5948$) o los puntos de muestreo ($p=0.0924$). Principalmente se encontraron huevos de *Ascaris lumbricoides* cercanos a

poblaciones y en menor cantidad huevos de *Uncinaria sp.* Cercanos a fincas ganaderas. Al relacionar los recuentos con los límites máximos permisibles de huevos de parásitos helmintos a cuerpos de aguas, esta no es recomendable utilizarla para riego o consumo humano (12).

La presencia de *E. coli* se reporta en la mayoría de lugares muestreados exceptuando en el Centro del Lago y en la Desembocadura del Río San Marcos. En general indica que hay contaminación reciente por materia fecal de origen humano o animal (42, 45, 46) (Anexo 6).

En cuanto al lago Petén Itzá, los recuentos mayores están presentes en los cinco puntos poblados cercanos al lago. Los recuentos fueron mayores que los encontrados en el lago de Izabal, porque hay más poblaciones cercanas al lago que vierten aguas residuales domiciliarias, con mal sistema de drenajes; influye también el tamaño del lago en relación con la cantidad de poblados, en este caso la contaminación es mayor, porque hay más habitantes viviendo alrededor del lago en comparación con el lago de Izabal.

En la Gráfica 1, los recuentos de coliformes fecales presentaron variabilidad ($p=0.0103$) en relación a los otros lagos; no existe diferencia significativa entre las épocas de muestreo ($p=0.2309$) ni entre los lugares muestreados ($p=0.1286$) con diluciones máximas de 10^3 en este lago ya que todos los puntos manifiestan condiciones similares o iguales en cuanto al manejo de aguas residuales domiciliarias.

En la gráfica 2 se observa la relación que existe con los colifagos. Existe diferencia marcada ($p= 0.0211$) entre los tres lagos, En el lago Petén Itzá se encontraron en todos los puntos muestreados lo que nos muestra que no hay diferencia significativa entre lugares muestreados ($p=0.8635$), siendo la dilución máxima durante la época seca de 10^4 y en la época de lluvia las diluciones mayores fueron 10^1 y 10^2 (Anexo 7), indicando que hay diferencia significativa entre las épocas de muestreo ($p=0.0015$) posiblemente al concentrarse la carga de colifagos por disminución del volumen de agua en los lagos, (Anexo 7). También indica que existe 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 (38, 51).

La Gráfica 3 que indica la relación de huevos de parásitos helmintos con los tres lagos, indica diferencia significativa entre los lagos ($p=0.0237$), presentando recuentos más cantidad de recuentos que el lago de Izabal. También nos muestra que no hay diferencia significativa entre época seca o lluviosa ($p=0.5948$) o los puntos muestreados ($p=0.0294$). Principalmente se encontraron huevos de *Ascaris lumbricoides* y en mucha menor cantidad de *Uncinaria sp.* Estos datos indican que el agua no es recomendable utilizarla para riego o consumo humano (12).

En los cinco puntos muestreados se detectó presencia de *E. coli* indicando contaminación reciente por materia fecal de origen humano o animal (42, 45, 46) (Anexo 7).

Los sitios con presencia de colifagos estuvieron relacionados con los lugares en donde se encontró *E. coli* en los tres lagos, de acuerdo a los datos de los cuadros 1, 2 y 3 (Anexos 5, 6 y 7) donde se puede observar que de 62 muestras en 59 se encontró presencia de colifagos y presencia de *E. coli*. De acuerdo al análisis estadístico esto tiene una correlación del índice de Kappa de 0.6407 (Tabla 2) que indica en términos generales que se puede correlacionar la presencia de colifagos con bacterias del grupo coliforme (*E. coli*). El encontrar colifagos conjuntamente con coliformes fecales, además de ser indicadores de contaminación fecal también son considerados como indicadores de presencia de enterovirus (21, 51, 52).

Estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas en los embalses Dos Bocas y Las Curias en Puerto Rico donde se realizó un estudio comparativo de grupos coliformes y colifagos como indicadores microbiológicos de calidad de agua donde los resultados revelaron que los colifagos pudieron ser detectados al igual que los grupos coliformes y por Mayta E. y colaboradores en el Río Morococha del Parque Nacional Huascarán en Perú en donde se confirmó la existencia de una correlación significativa entre colifagos y *E. coli*. También el estudio donde se relacionó la presencia de colifagos y *E. coli* en diferentes fuentes de agua de la capital de Guatemala por Estrada W, mostró alta correlación entre la presencia de ambos indicadores (21, 43, 44).

Así mismo, de las 62 muestras, 3 no mostraron relación presencia de *E. coli* con colifagos que puede deberse al efecto de dilución que afecta a las bacterias, se reducen en

caudales grandes de agua, por lo que a los virus les es difícil sobrevivir si no tienen un hospedero a quien infectar y su supervivencia en el agua puede ser de menor tiempo (15, 21), pero en términos generales se puede correlacionar la presencia de E. coli con la presencia de colifagos (21).

X. CONCLUSIONES

1. Todos los lagos presentan diferencias entre sí, pero en base al grado de contaminación de tipo microbiológico, los resultados de este estudio señalan que el más contaminado es el de Amatitlán, luego Petén Itzá y el más limpio el de Izabal en los parámetros evaluados.
2. En cuanto a la época del año, no se detectó mayor diferencia en los parámetros evaluados entre época seca y época lluviosa, por contaminación provocada por bacterias coliformes fecales, en todos se encontró recuentos altos.
3. Se encontró presencia de colifagos ($p=0.0211$) en los tres lagos, siendo significativamente mayor los recuentos en época seca.
4. Durante la época de lluvia se encontraron más huevos de parásitos helmintos, que durante la época seca, principalmente de *Ascaris lumbricoides* y *Uncinaria sp.*
5. Hay mayor contaminación de bacterias coliformes fecales, huevos de helmintos y colifagos en los lugares donde hay centros poblados cercanos al los lagos, ya que se descargan las aguas de desechos de origen doméstico directamente a afluentes de los mismos lagos.
6. La prueba de colifagos se puede utilizar como indicadora microbiológica de la calidad de agua y como indicador aislado de presencia de grupos coliformes.
7. Se encontró relación entre presencia de colifagos en los lugares donde hay presencia de *E. coli* ($p=0.6407$).
8. Se debe incluir a los huevos de helmintos y a los colifagos como parte de las pruebas de control de calidad de agua, porque permiten ampliar información de cuáles son los agentes que están causando contaminación microbiológica, cuál es el indicador que predominan en cada lago o en cada uno de los puntos muestreados.
9. El agua de los lagos no es apta para consumo humano porque indica mal manejo de los desechos residuales y su uso debe estar restringido a normas sanitarias que aseguren calidad.

XI. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los monitoreos en los lagos, afluentes y efluentes de los mismos, incluyendo otros puntos, profundidades, y/o pruebas, que permitan ampliar el estudio de evolución de los cuerpos de agua, el impacto ambiental que las comunidades tienen en ellos, porque la contaminación microbiológica pone en riesgo la salud y la economía de los pobladores que se encuentran en los alrededores.
2. Es importante dar a conocer los resultados a las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que tienen a su cargo el manejo de estos cuerpos de agua, contribuyendo de esta forma con proyectos de calidad y manejo del agua ya existentes en estos lugares, proyectos de sanidad en las comunidades que se encuentran cercanas a los lagos, porque son estas comunidades las que utilizan el agua para beber, cocinar o servicios de limpieza y por lo mismo deben llenar los requerimientos mínimos de calidad para ser considerada como agua potable.
3. Implementar otras pruebas de control de calidad de agua en el Laboratorio Microbiológico de Referencia – LAMIR-, como colifagos somáticos, *E. coli* específicas. Esto permite ampliar la cobertura de servicios que pueden brindar a instituciones públicas o privadas, fomentando la investigación de otros agentes microbiológicos.
4. Utilizar las pruebas para cuantificar huevos de parásitos helmintos y colifagos como pruebas complementarias para analizar muestras de agua.
5. Involucrar a las alcaldías municipales y a los comités de vecinos, con información de calidad del agua, proveniente de investigaciones con el propósito de mejorar la calidad de vida de la región.

XII. REFERENCIAS

1. Indicadores de contaminación fecal en aguas. Capítulo 20. Enero 2002. Mayo 2004. http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripdal/pdfs/capitulo_20pdf
2. Pérez J. F. Carga de nutrientes y sedimentos del río Polochic y su impacto sobre la integridad ecológica del lago de Izabal. Guatemala, Universidad del Valle, (Tesis de Maestría en Estudios Ambientales) 2003. 230p.
3. Guía para la calidad del agua potable. Volumen 3. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Publicación Científica No. 58. Organización Panamericana de la Salud. Washington. D.C. EUA, 1988. VIII + 131p.
4. La Cuenca y el Lago de Amatitlán. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán. Folleto Educativo para el Nivel Superior. Presidencia de la República de Guatemala. Guatemala, 2004. 40p.
5. Monografía del Municipio de Amatitlán. Autoridad para el el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán. Folleto Educativo. Presidencia de la República de Guatemala. Guatemala, 2004. 24p.
6. Gall F. Diccionario Geográfico de Guatemala. Tomo I. 2ª. Ed. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala, 1978. Tipografía Nacional. XXV + 833P.
7. Pérez F. et al. Contaminación fisicoquímica y bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal. Guatemala, enero-diciembre Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala (Informe final de Investigación, Dirección General de Investigación DIGI) 2004. 215p.

8. Gall F. Diccionario Geográfico de Guatemala. Tomo II. 2ª. Ed. Instituto Geográfico Nacional. Guatemala, 1978. Tipografía Nacional. 1083P.
9. Roldán PG. Fundamentos de limnología neotropical. 1 ed. Colombia: Editorial Universitaria de Antioquia. 1992. 529 p.
10. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Manual sobre el agua. Hacia una mejor programación. Estados Unidos de América: 1999. V +108p.
11. Madigan M., Martinko J., Parker J. Brok. Microbiología de los Microorganismos. 8.ed. trad. Madrid: Prentice hall. Iberia, 1999. 1064p.
12. Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores. Acuerdo gubernativo 66-2005. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala, 2005.
13. Pelczar MJ., Reid R., Chan E. Microbiología. 2 ed. Capella, A., Tay, J. trad. México: MacGraw-Hill, 1982. XIV+826p.
14. Solomon E. Berg, L. Martin D. Biología. 5a. Ed. McGraw-Hill Interamericana. México, 2001. XXXII + 1236P.
15. Chanco M. et al. Estudio de colifagos en ambientes lénticos del Parque Nacional Huascarán ANCASH. Enero 2003. Mayo 2004.
<http://www.unmsm.edu.pe/biologia/docentes/ProfMayta.htm>
16. Herrera K. Indicadores biológicos de la calidad del agua del río Polochic y de la Integridad biológica del lago de Izabal. Guatemala, Universidad del Valle, (Tesis de Maestría en Ciencias) 2001. 105p.

17. Espejo R. Bacteriófagos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos. Washington, D.C. 1973. V+65 p.
18. Adams M. Bacteriophages. Estados Unidos: Intersciens Publishers. 1966. XVI +285p.
19. Brack, A., Mendiola, C. La contaminación del agua. Enero 2004. Enero 2005.
http://www.peruecologico.com.pe/lib_c23_t01.htm.
20. Paz M. *et al.* Colifagos como indicadores de contaminación fecal y de remoción bacteriana en la potabilización del agua. Rev. Peru biol., jul./dic. 2003, v10. n.2, p. 133-144. ISSN-1727-9933.
21. Estrada W. Relación entre la presencia de colifagos y *Escherichia coli* en diferentes fuentes de agua de la ciudad capital, y análisis por asociación de la contaminación viral de mismas. Guatemala, Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001. 62p.
22. Florián H. Aislamiento de bacteriófagos específicos para *Escherichia coli* diarreinogénicas. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 85p.
23. Markell E., Voge, M. Parasitología; diagnóstico, prevención y tratamiento. 5 ed. De la Garza, V. trad. México: Manual Moderno, 1984. 429p.
24. Aguilar F. Parasitología Médica. 1ª. ed. Guatemala. 1987. 371p.
25. Parásitos Intestinales. Abril 2005 Junio 2005.
<<http://www.esmas.com/salud/enfermedades/infecciosas/451438.html> 1507

26. Vossberg J. Aislamiento de Bacteriófagos específicos para *Klebsiella oxytoca* multirresistente. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 80p.
27. Agua y enfermedad. Junio 2005 Julio 2005
<<http://www.excelwater.com/spa/b2c/about-2.php>.
28. Factores relacionados con la salud que afectan a la población. Capítulo 7. Junio2000 <<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea27s/ch10.htm>
29. Memorial Anual de Vigilancia Epidemiológica. Dirección General de Sistema Integral de Atención en Salud. Departamento de Epidemiología. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala: 2003.
30. Sistema de Información General de Salud (SIGSA). Indicadores Básicos de Análisis de Situación Salud. Memoria Anual. Guatemala, 1998.
31. Bellanti J. Inmunología. 3ª. Ed. México, Editorial Interamericana, 1986. XV + 662 p.
32. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.; Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997
<http://www.semarnat.go.mx/ssfna/Legislaci%F3n%20Ambiental/Normas0/agua/agua_nom003.htm>.
33. Archila C. *et al.* Determinación de parásitos en aguas afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nimajuyú. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (Informe de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 76p.

34. Ley general de aguas. Documento de discusión. Iniciativa 3118. Comisión del Ambiente, Ecología y Recursos Naturales. Congreso Nacional de la República de Guatemala. Guatemala, 2005. 29p.
35. Comisión guatemalteca de normas de la calidad COGUANOR. Normas NGO 29001, 29005 Y 29011. Ministerio de Economía. Guatemala. 2001.
36. Castellanos E., Escribá J. Manual de indicadores del ambiente y los recursos naturales. Informe Final. Sistema de Información Ambiental, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. República de Guatemala, 2003. 76p.
37. Herrera K. Microbiología y Aspectos Fisicoquímicos del Agua. Folleto de Investigación para Laboratorio. Guatemala, 1998. 10p.
38. Clesceri L., Greenberg, A., Eaton A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Baltimore, USA, 1982.
39. Miyares M. Determinación de coliformes y helmintos en aguas afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Nimajuyú 1 zona 21. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003. 76p.
40. Atlas geográfico universal y de Guatemala. Editorial Océano. S.A. España, 1995. XX + 96 p
41. Gil P. Monitoreo y cuantificación de coliformes totales, coliformes fecales y *Esterichia coli*, en siete microcuencas del algo de Amatitlán. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2002. 73p.

42. Cano S. Fitoplancton y coliformes como indicadores de la calidad del agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2003 79p.
43. Aplicación del test de colifagos como indicador de eficiencia de desinfección en el tratamiento del agua. IDRC: testing the waters: Water quality control Chile. <http://archive.idrc.ca/library/water/index-e.html>
44. Montiel M. *et al.* Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en el agua de la Laguna de Sinamaica, Estado Zulia, Venezuela. *Cienciv.13* n.3, Maracaibo sep. 2005. <http://www.inizar.es/fnca/america/docu/216b.ppt>
45. Oliva B, Pérez F, Herrera K. Los humedales del biotopo Chocón Machacas, Río Dulce, Guatemala. <http://www.inizar.es/fnca/america/docu/216b.ppt>
46. Oliva B, Pérez F. La contaminación del agua y su impacto en la salud en Guatemala. <http://www.inizar.es/fnca/america/docu/1273.ppt>
47. Impactos ambientales-contaminación del agua de ríos y lagos. <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?IdEntrega=917>
48. Lucena F. *et al.* Occurrence of bacterial indicators and bacteriophages infecting enteric bacteria in groundwater in different geographical areas. *J. Ap. Mic* 2006; 101:96-102.
49. Ríos R. *et al.* Comparación de coliformes y colifagos como indicadores microbiológicos de calidad del agua en los embalses Dos Bocas y Las Curias en Puerto Rico. <http://www.brsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/rivera.pdf>

50. Brezina S, Baldini M. Detection of somatic coliphages as indicators of faecal contamination in estuarine waters. *Rev. Argent. Microbiol*
51. Mayta E. *et al.* Distribución altitudinal de colifagos en Parque nacional Huascarán: RíoMorococha. <<http://www.unmdm.edu.pe/biología/docentes/ProfMayta.html>

XIII. ANEXOS

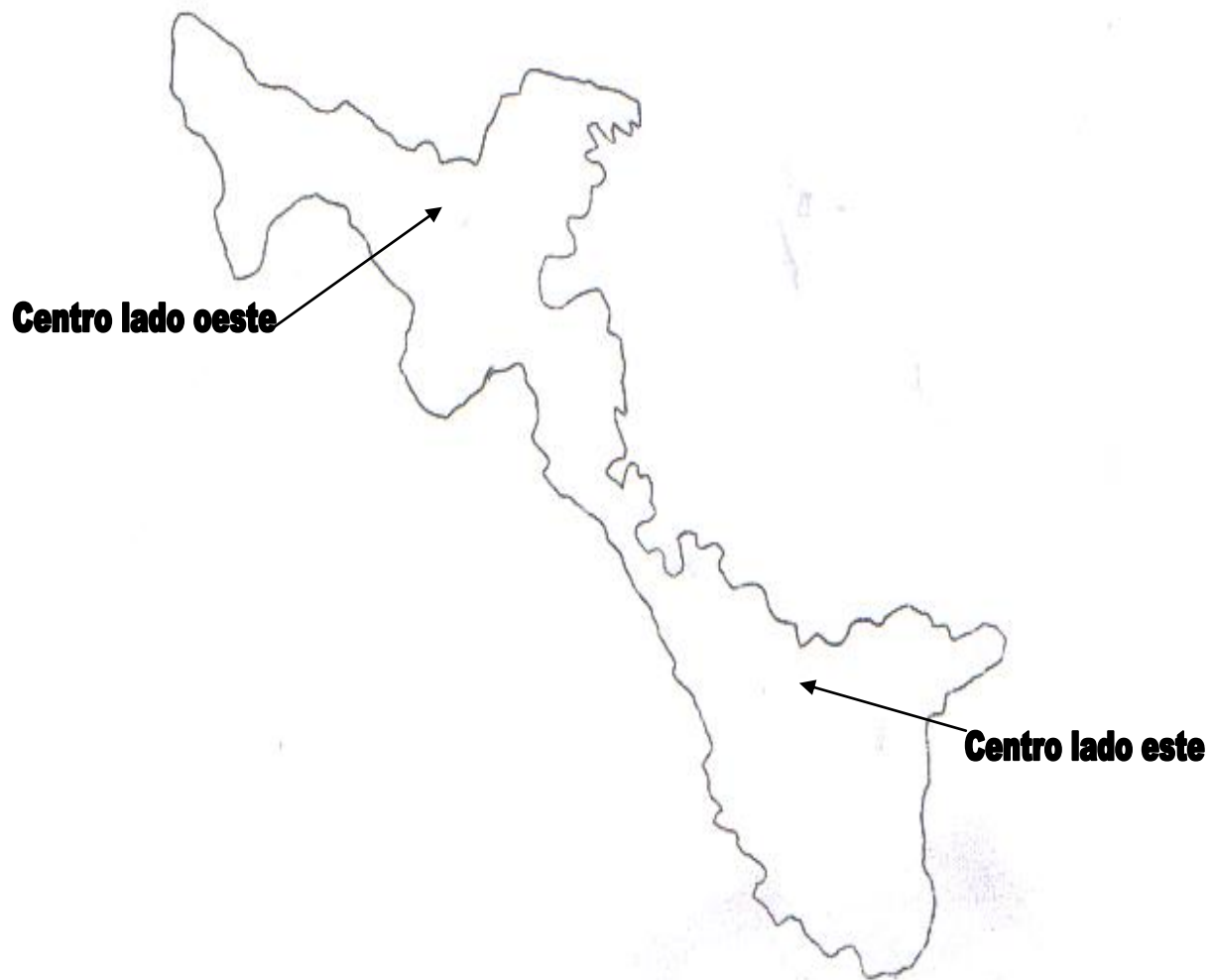
Anexo 1

Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

Parámetro	Unidad	Ríos Riachuelos Quebradas		Lagos Lagunas Embalses naturales y artificiales		Aguas Costeras		Descarga en el subsuelo		Humedales		Alcantarillado Público	
		Etapa		Etapa		Etapa		Etapa		Etapa		Etapa	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Temperatura	°C	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7	+/-7
Grasas y Aceites	mg/L	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15
Materia Flotante		Ausente		Ausente		Ausente		Ausente		Ausente		Ausente	
Sólido Sedimentable	mg/L	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Sólidos Suspensos	mg/L	120	60	80	40	150	75	300	150	120	60	120	60
Demanda	mgO ₂ /l	200	100	80	40	200	100	400	200	200	100	200	100
Demanda	mgO ₂ /l	300	200	150	100	300	200	450	300	300	200	300	200
Nitrógeno Total	mg/L	40	40	10	10	15	15	40	40	40	40	40	40
Fósforo Total	mg/L	20	20	5	5	10	10	20	20	20	20	20	20
Potencial de Hidrógeno	pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
Coliformes Fecales	NMP	1*10 ⁶	1*10 ⁴	1*10 ⁶	1*10 ⁴	1*10 ⁶	1*10 ⁴	1*10 ⁶	1*10 ⁴	1*10 ⁴	1*10 ³	1*10 ⁶	1*10 ⁴

Fuente: Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (12)

Anexo 2

Localización de los puntos de muestreo en el lago de Amatitlán (6)

Anexo 3

Localización de los puntos de muestreo en el lago de Izabal (8)



Anexo 4

Localización de los puntos de muestreo en el lago de Petén Itzá (8)



Anexo 5

Cuadro 1
Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Amatitlán

LAGO	PUNTOS	EPOCA	Coliformes Fecales	Colifagos	Parásitos Helmintos	<i>E. coli</i>
			UFC/100mL	UFP/100 mL	hh/L	Presencia/Ausencia
Amatitlán	Centro	Seca	30×10^4	10×10^4	45	†
	Lado Este	Seca	5×10^5	20×10^5	28	†
		Seca	10×10^5	40×10^5	31	†
		Lluviosa	10×10^5	80×10^5	65	†
		Lluviosa	20×10^5	60×10^5	24	†
		Lluviosa	4×10^5	150×10^5	31	†
	Centro	Seca	30×10^4	20×10^4	54	†
	Lado Oeste	Seca	10×10^5	20×10^5	23	†
		Seca	10×10^4	30×10^4	25	†
		Lluviosa	10×10^5	60×10^5	56	†
		Lluviosa	20×10^5	80×10^5	50	†
		Lluviosa	10×10^5	130×10^5	41	†

UFC/100 mL: unidades formadoras de colonias en 100 mililitros

UFP/ 100 mL: unidades formadoras de placas en 100 mililitros

hh/L: huevos de helmintos por litro

-/+ : ausencia/ presencia

Fuente: Datos experimentales

Anexo 6

Cuadro 2
Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Izabal

LAGO	PUNTOS	EPOCA	Coliformes Fecales	Colifagos	Parásitos helmintos	<i>E. coli</i>
			UFC/100mL	UFP/100 mL	hh/L	Presencia/Ausencia
Izabal	Desembocadura del río	Seca	20 x 10 ¹	0	8	—
		Seca	50 x 10 ¹	10 x 10 ¹	4	†
	San Marcos	Lluviosa	30 x 10 ¹	0	5	—
		Lluviosa	60 x 10 ¹	10 x 10 ¹	9	—
	Punto Medio	Seca	NR	NR	2	†
	Desembocadura	Seca	10	0	3	†
	Río Polochic	Lluviosa	10	10	4	†
		Lluviosa	70x 10 ¹	100 x 10 ¹	20	†
	El Estor	Seca	50 x 10 ¹	10 x 10 ¹	22	†
		Seca	60 x 10 ¹	10 x 10 ¹	15	†
		Lluviosa	10	0	37	†
		Lluviosa	80 x 10 ¹	10 x 10 ¹	36	†
	Centro del lago	Seca	0	0	0	—
		Seca	0	0	0	—
		Lluviosa	0	0	0	—
		Lluviosa	0	0	0	—
	Frente al	Seca	240x 10 ¹	0	12	†
	Castillo de San	Seca	0	0	3	—
	Felipe	Lluviosa	20	3	0	†
		Lluviosa	0	30 x 10 ¹	2	†

NOTA: NR no se realizó por derrame de la muestra durante el traslado.

UFC/100 mL: unidades formadoras de colonias en 100 mililitros

UFP/ 100 mL: unidades formadoras de placas en 100 mililitros

hh/L: huevos de helmintos por litro

-/+: ausencia/ presencia

Fuente: Datos experimentales

Anexo 7

Cuadro 3
Recuentos obtenidos de los muestreos en el lago de Petén Itzá

LAGO	PUNTOS	EPOCA	Coliformes Fecales	Colifagos	Parásitos helmintos	<i>E. coli</i>	
			UFC/100mL	UFP/100 mL	hh/L	Presencia/Ausencia	
Petén Itzá	Desembocadura	Seca	10	0	20	†	
		Del Río Ixlú	Seca	10 x 10 ³	80 x 10 ³	20	†
		Seca	10 x 10 ³	20 x 10 ³	24	†	
		Lluviosa	10 x 10 ¹	10 x 10 ¹	58	†	
		Lluviosa	10x 10 ¹	40 x 10 ¹	10	†	
		Lluviosa	10	2	30	†	
		San Andrés	Seca	10	3	30	†
			Seca	10 x 10 ²	170 x 10 ²	17	†
			Seca	10 x 10 ³	10 x 10 ³	26	†
			Lluviosa	10 x 10 ¹	2 x 10 ¹	8	†
			Lluviosa	10 x 10 ¹	20 x 10 ¹	18	†
			Lluviosa	10 x 10 ²	10 x 10 ²	14	†
		Santa Elena	Seca	MNPC	MNPC	12	†
			Seca	25 x 10 ³	30 x 10 ³	32	†
			Seca	10 x 10 ³	20 x 10 ³	6	†
			Lluviosa	10 x 10 ¹	10 x 10 ¹	21	†
			Lluviosa	20	20	17	†
			Lluviosa	20 x 10 ²	5 x 10 ²	10	†
		San Benito	Seca	10 x 10 ³	20 x 10 ³	45	†
			Seca	12 x 10 ³	40 x 10 ³	18	†
			Seca	10 x 10 ³	10 x 10 ³	34	†
			Lluviosa	40 x 10 ¹	4 x 10 ¹	47	†
			Lluviosa	20 x 10 ²	20 x 10 ²	25	†
			Lluviosa	10 x 10 ²	3 x 10 ²	90	—
		San Miguel	Seca	10	10	40	†
			Seca	10 x 10 ³	20 x 10 ⁴	35	†
			Seca	10 x 10 ³	20 x 10 ³	12	†
			Lluviosa	10 x 10 ¹	10 x 10 ¹	22	†
			Lluviosa	10 x 10 ¹	10 x 10 ¹	32	†
			Lluviosa	10 x 10 ²	20 x 10 ²	57	†

UFC/100 mL: unidades formadoras de colonias en 100 mililitros

UFP/ 100 mL: unidades formadoras de placas en 100 mililitros

hh/L: huevos de helmintos por litro

-/+: ausencia/ presencia

Fuente: Datos experimentales

