

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

**FITOPLANKTON Y COLIFORMES COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL
AGUA EN EL PARQUE NACIONAL LAGUNA DEL TIGRE, PETÉN**

SCARLETTE ALEJANDRA CANO SÁNCHEZ

QUÍMICA BIÓLOGA

Guatemala Noviembre de 2003

INDICE

I. Resumen	1
II. Introducción	3
III. Antecedentes	5
A. Parque Nacional Laguna del Tigre -PNLT-	5
1. Importancia de los humedales	6
B. Calidad del agua	7
1. Determinación de la calidad del agua	7
2. Contaminación del agua	8
C. Proceso de eutrofización	8
1. Agua eutrófica y oligotrófica	9
D. Indicadores biológicos	9
E. Fitoplancton	12
1. Plancton	12
2. Importancia del fitoplancton	13
3. Clasificación del fitoplancton	13
4. Factores ambientales que influyen sobre la producción de fitoplancton	15
5. Fitoplancton como indicador	17
6. Métodos de estudio del fitoplancton	18
F. Coliformes	19
1. Importancia de los organismos coliformes	20
2. Importancia de la <i>Escherichia coli</i>	21
3. Análisis de Coliformes	22
G. Estudios realizados en el Parque Nacional Laguna del Tigre -PNLT-	23
IV. Justificación	25
V. Objetivos	26
VI. Hipótesis	27

VII. Materiales y Métodos	28
A. Universo	28
1. Muestra	28
B. Recursos	28
1. Recursos humanos	28
2. Recursos materiales	28
C. Metodología	30
1. Análisis de fitoplancton	30
2. Análisis de Coliformes	30
D. Diseño de investigación	31
1. Muestreo	31
2. Variables de interés	31
3. Análisis de resultados	31
VIII. Resultados	32
IX. Discusión	48
X. Conclusiones	53
XI. Recomendaciones	54
XII. Referencias	55
XIII. Anexos	58

I. RESUMEN

El Parque Nacional Laguna del Tigre, ubicado en el Departamento del Petén es la zona más importante dentro de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Maya, además de ser el humedal más grande de Centroamérica e incluido como humedales de importancia internacional según la convención RAMSAR.

Dentro del parque se hallan asentadas una gran cantidad de comunidades, mismas que han ido en aumento desde el inicio de las actividades petroleras de la compañía Basic alrededor de 1985. Estas comunidades se ven beneficiadas de los recursos disponibles en el área, de los cuales el recurso hídrico es uno de los principales, ya que de él dependen la subsistencia de flora y fauna.

Debido a esta constante colonización que está sufriendo el parque, los cuerpos de agua se han visto deteriorados, ya que por la falta de fuentes de agua potable y sistemas adecuados de drenajes y servicios sanitarios, los pobladores utilizan los distintos ríos y lagunas para sus actividades domésticas, alimentación y para manejo de desechos, lo cual está causando un gran impacto, ya que el agua se está enriqueciendo con una gran cantidad de nutrientes, lo cual trae como consecuencia el deterioro acelerado de la calidad de la misma.

En este trabajo de tesis se llevó a cabo la evaluación del Fitoplancton y Coliformes como indicadores de la calidad del agua en el PNLT, haciendo para ello la identificación de los distintos géneros de fitoplancton que se encuentran en las lagunas y ríos, y la determinación de presencia-ausencia de coliformes totales y fecales. Se tomaron muestras durante cuatro viajes de campo, realizados dos en época seca y dos en época lluviosa, en el año 2002. Para el Fitoplancton se muestrearon seis puntos: laguna La Pista, laguna Guayacan, laguna Flor de Luna, laguna pozo Xan, laguna Bella Vista y río Candelaria. Y para coliformes se tomaron en total diez puntos, además de los ya mencionados se muestrearon: laguna el Toro, laguna las Puertas, arroyo la Mancuernadora y río Sacluc.

Se observó que la mayoría de los cuerpos de agua evaluados presentan un estado eutrófico, ya que se encontró en ellos géneros de fitoplancton indicadores de deterioro de la calidad del agua, como *Microcystis*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, entre otros. Del mismo modo se identificaron géneros que aparecieron durante una sola época como *Synura* y *Dynobryon*, mismos que pueden ser utilizados en estudios futuros como

indicadores, ya que su permanencia o desaparición pueden dar un dato de el avance del deterioro de la calidad del agua.

En cuanto a los coliformes, se encontraron coliformes totales y fecales en todos los puntos de muestreo. Durante la época seca los coliformes fecales se presentaron desde el primer muestreo en la laguna Bella Vista y arroyo la Mancuernadora, puntos ubicados cercanos a poblaciones y presencia de ganado. Durante la época lluviosa se presentaron en todos los puntos.

En base a los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que la calidad del agua en el PNLT se encuentra deteriorada, lo cual pone en peligro la salud de la población de los alrededores, ya que ésta es su única fuente de abastecimiento.

Se concluye también que el uso del Fitoplancton y Coliformes como indicadores es un buen parámetro a utilizar, debido a sus características y fácil identificación, sin embargo, en el caso de los coliformes sería muy importante la realización de un estudio en el cual se cuantifiquen, para hacer los resultados más exactos.

Se recomienda la implementación de un programa anual de monitoreo de la calidad del agua, así como un programa enfocado a educar a las poblaciones de este lugar en cuanto al uso racional del agua, el uso de métodos para purificarla, como hervirla o utilizar cloro; y una campaña de salud para determinar cuales son los principales agentes patógenos involucrados en las enfermedades gastrointestinales, para poder establecer una vigilancia epidemiológica, en pro de la mejora de las condiciones de vida.

II. INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Laguna del Tigre (PNLT) se ubica dentro de la Selva Maya, un extenso sistema de bosque seco que se extiende de la parte sur de México a toda la parte norte de Guatemala y Belice. El PNLT ocupa más de 338,566 hectáreas de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), la cual es el sistema más grande de áreas protegidas y manejadas de la Selva Maya. Este Biotopo es considerado el humedal de agua dulce de más importancia en Guatemala, está compuesto por varios ríos, más de 300 lagunetas tropicales, sabanas y pantanos (1).

A pesar de la importancia estratégica del PNLT como un área núcleo de conservación dentro de la RBM, el parque se encuentra extremadamente amenazado debido a la presencia de las áreas núcleo para la explotación del petróleo. La colonización humana del parque junto con los caminos construidos para las operaciones del petróleo también son una presión para los ecosistemas del parque. Una colonización adicional está llevándose a cabo a lo largo de ríos, particularmente en el Río San Pedro y el Río Escondido. Debido al manejo inadecuado de los recursos naturales no renovables, estos se encuentran sufriendo grave deterioro, tal es el caso de los recursos hidrológicos.

El enriquecimiento de un cuerpo de agua con nutrientes en exceso como fósforo, nitrógeno y materia orgánica, inicia un proceso de eutroficación, el cual puede transformarlo en un pantano(9). En un proceso de eutroficación se observa una proliferación de microorganismos de todo tipo, como bacterias y algas. En otras regiones del país como Izabal, Amatitlán y Atilán se ha evidenciado la alta concentración de nutrientes que se descargan en sus principales cuerpos acuáticos, utilizando como microorganismos indicadores al fitoplancton, el cual juega un papel importante en la cadena trófica de los organismos acuáticos, y se ha encontrado que algunos florecimientos de géneros y/o especies se asocian con el incremento de nitrógeno y fósforo, nutrientes que normalmente no deberían encontrarse en altas concentraciones en el agua. Por otro lado se puede demostrar la incidencia de la contaminación causada por la presencia del hombre, específicamente por excretas humanas, por medio del análisis de coliformes totales y fecales, el cual debe ser una parte utilizada

habitualmente en los estudios de calidad del agua. Se emplean este tipo de indicadores, ya que se trata de organismos sensibles a cambios en su entorno, de fácil colecta y que pueden ser evaluados continuamente.

En este estudio se identificaron las especies de fitoplancton en seis puntos estratégicos del PNLT (Río Candelaria, Guayacán, Pozo Xan, Flor de Luna, El Toro, Buena Vista), y se estudió de forma cualitativa la presencia de coliformes totales y fecales en diez puntos elegidos por conveniencia, con el fin de determinar las condiciones en que se encuentran los cuerpos de agua en cuanto a calidad, lo cual permitió proponer estrategias para la conservación del recurso hídrico de este parque.

III. ANTECEDENTES

A. Parque Nacional Laguna del Tigre –PNLT-

El Parque Nacional Laguna del Tigre (PNLT) se ubica dentro de la Selva Maya, es un extenso sistema de bosque seco que se extiende de la parte sur de México a toda la parte norte de Guatemala y Belice. El PNLT ocupa más de 338,566 hectáreas de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), la cual es el sistema más grande de áreas protegidas y manejadas de la Selva Maya. Dentro de la RBM, el parque es el área núcleo protegida más grande. (Anexo 1)

El parque está compuesto por varios ríos, más de 300 lagunetas tropicales, sabanas y pantanos. En la parte oeste se encuentran las zonas inundadas o sujetas a inundación que forman numerosas lagunas, dichas áreas de humedales fueron incluidas como humedales de importancia internacional bajo la convención RAMSAR en 1990 y 1999 (1).

Dentro del área del PNLT se encuentra el Biotopo Laguna del Tigre-Río Escondido que ocupa 48,372 hectáreas, el cual fue declarado legalmente como tal por el decreto 4-89. En ese mismo decreto se designó al PNLT como área de protección especial(2).

Como característica natural de esta zona de vida, se da una marcada diferenciación entre las estaciones húmeda y seca, pero pudiendo darse breves lluvias en la estación seca o verano. El curso de agua más importante en el parque es el Río San Pedro, el cual es un tributario mayor del Río Usumacinta. El Río Sacluc es un tributario del Río San Pedro y drena áreas al sureste del parque. El Río Escondido drena áreas dentro y alrededor del Biotopo de la Laguna del Tigre en la parte oeste del PNLT. El Río Chocop drena el centro del parque y el Río Candelaria es un afluente independiente de la Laguna de Términos(3).

El clima es cálido y húmedo, se registran temperaturas que oscilan entre 25°C y 35 °C. La precipitación anual de la región no se puede determinar debido a que falta una adecuada red de estaciones meteorológicas(2).

Actualmente dentro del parque se están desarrollando actividades petroleras, que iniciaron en el año 1970 cuando Texaco descubrió petróleo en el Noroeste del Petén. Fue así como en 1985 con leyes más favorables creadas en 1983, Basic en asociación con Repsol Exploración, ganó los derechos para explotar los campos Xan a través del contrato 1-85, antes de ser declarada la Reserva de la Biosfera Maya. La actividad petrolera se siguió ampliando y en 1992 el Ministerio de Energía y Minas dio una nueva concesión

(contratos 1-92 y 2-92) por veinticinco años a la petrolera, otorgándole permiso para perforar cuatro pozos más para 1998.

El impacto debe considerarse no únicamente por el deterioro al ambiente causado por la actividad petrolera, ya que la misma conlleva la apertura de carreteras, lo cual facilita la migración y ha permitido que se establezcan comunidades en lugares que antes eran inaccesibles (2,3).

1. Importancia de los humedales

Existen muchas definiciones de humedal, siendo la de mayor aceptación la adoptada por la convención sobre Humedales, o Convención Ramsar, que los define como ecosistemas tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar permanente o temporalmente inundados, ya sea por aguas dulces, estuarinas (salobres) o salinas, las cuales pueden estar estancadas o corrientes e incluyen las regiones ribereñas, costeras y marinas que no excedan los 6 m de profundidad con respecto al nivel medio de las mareas bajas(4).

Los humedales son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Los beneficios de los humedales consisten en una gran variedad de bienes y servicios para la sociedad y de usos y funciones para la flora y fauna silvestres y el mantenimiento de sistemas y procesos naturales. Son proveedores de agua para uso doméstico, agrícola e industrial, siendo éste el mayor y más directo beneficio a la sociedad humana.

Por sus características ecológicas, actualmente los humedales se consideran vertederos y transformadores de múltiples materiales biológicos, químicos y genéticos. Se les denomina riñones de la tierra debido a su capacidad de filtrar y absorber ciertos contaminantes dentro de los ciclos químicos e hidrológicos, así como por ser receptores de aguas naturales o artificiales.

De igual forma, se ha determinado que los humedales juegan un papel muy importante como hábitats únicos que albergan una amplia variedad de flora y fauna silvestres, y como centros de reproducción de gran cantidad de peces y crustáceos, muchos de ellos de importancia comercial (4).

Dada la gran importancia que representa la conservación de estas zonas, no sólo deben ser valoradas bajo el punto de vista biológico, sino también económico, social,

político y cultural, lo cual justifica la necesidad de su conservación, protección, manejo y uso racional (4).

B. Calidad del agua

El agua es esencial para la vida humana y para la conservación del ambiente. Como un valioso recurso, comprende mar, estuarios, agua dulce (ríos y lagos). La calidad del agua es comúnmente definida por sus características físicas, químicas, biológicas y estéticas (aparición y olor). Un ambiente sano es aquel en el que la calidad del agua mantiene a una rica y variada comunidad de organismos y protege la salud pública(5).

La calidad de un cuerpo de agua depende de la forma en que las comunidades hagan uso del agua para actividades como beber, nadar o propósitos comerciales. De forma más específica, el agua en la comunidad puede ser utilizada para:

- Abastecimiento de agua potable
- Recreación
- Riego de cultivos
- Procesos industriales
- Navegación
- Producción de pescado y crustáceos comestibles
- Protección de los ecosistemas acuáticos
- Hábitat de vida
- Estudios científicos y educación

1. Determinación de la calidad del agua

Para determinar si el agua es de buena calidad o no, es necesario identificar una serie de cualidades asociadas a contaminantes o procesos que sirvan como indicadores. El objetivo es cuantificar parámetros físicos, químicos y biológicos con el fin de establecer los valores máximos permisibles que no pongan en peligro la vida acuática y permitan utilizar el agua para cualquier propósito (6).

2. Contaminación del agua

La contaminación del agua es cualquier cambio químico, biológico o físico en la calidad del agua que tenga un efecto nocivo sobre los organismos vivos o que el agua resulte imposible de usar para los fines deseados (6).

Los principales contaminantes del agua son la materia sedimentable, los nutrientes de las plantas, las sustancias químicas, como las orgánicas persistentes, los metales y los microorganismos indicadores de contaminación humana, como lo son los coliformes totales y fecales.

La calidad del agua de los ríos, lagos, lagunas, estuarios y aguas costeras se ve amenazada por contaminantes que provienen de diversas fuentes: aguas de desecho (domésticos, urbanos, industriales), disposición de desechos sólidos (basura), agricultura y ganadería, acuicultura, acidificación, drenajes mineros, derrames de petróleo. Además existe un efecto acumulado por decisiones poco acertadas de ordenación y manejo de los recursos acuáticos, que ha sido consecuencia de la falta de datos sobre la calidad del agua(7).

C. Proceso de eutrofización

Entre los procesos que alteran la calidad del agua y que amenazan la conservación y estabilidad de la misma, el proceso de eutrofización, es uno de los más sobresalientes y objeto actual de amplias investigaciones.

La eutrofización es un proceso por el cual se llega al aumento de nutrientes tales como: nitrógeno y fósforo en un cuerpo de agua. El proceso de eutrofización natural se conoce como el envejecimiento de los lagos inducido por efectos naturales. Sin embargo, este término se ha utilizado para definir la eutrofización cultural, que no es otra cosa que una aceleración –provocada por el hombre- del proceso natural, que se observa en diversos cuerpos de agua impuesto por sobrealimentación derivada del entorno (6,8,9).

Los desechos generados por las personas en la vida diaria, que no son dispuestos correctamente, son fuente de nutrientes, por lo que son una contribución para que este proceso se presente de manera acelerada.

1. Agua eutrónica y oligotrófica

Cuando un cuerpo de agua es pobre en nutrientes (oligotrófico) tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas.

Al ir cargándose de nutrientes, el cuerpo de agua se convierte en eutrónica. Las algas crecen en gran cantidad con lo que el agua se enturbia. Las algas y otros organismos cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias, con lo cual se consume el oxígeno, y mueren especies de peces que necesitan aguas ricas en oxígeno. En algunos casos se producen putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores. El fondo del agua se va rellenando de sedimentos y su profundidad va disminuyendo (10).

En un cuerpo de agua eutrónica las concentraciones de oxígeno son escasas en las partes más profundas, haciendo que el nitrógeno y el fósforo ya no se encuentren en el sedimento, sino distribuidos homogéneamente en el agua, convirtiéndose en agentes fertilizadores de la misma. Estos compuestos nitrogenados y el fósforo disponible en equilibrio con el sedimentario, en formas simples como amonio, nitritos, nitratos y fosfatos, no son metabolizadas por especies superiores pero son aprovechadas eficientemente por especies vegetales y algas (8).

Los sobreflorecimientos de algas son los mayores indicios de eutrofización, lo cual se puede observar como manifestaciones poco atractivas del color verde y turbio del agua. El daño causado por el incremento total de las algas se ve aumentado si la o las especies dominantes son tóxicas o dañinas en alguna otra forma (6,11).

D. Indicadores biológicos

El creciente interés por conocer el estado actual de los cuerpos acuáticos y su evolución en el tiempo, ha estimulado una fuerte investigación en los últimos años, con el fin de establecer estándares que permitan determinar la "calidad del agua" para así satisfacer las demandas de uso del recurso. Una forma de abordar esta situación, es a través del análisis de las características físico-químicas del agua, y, por otro lado a través del uso de organismos indicadores de la calidad ambiental. Un indicador es un parámetro

que caracteriza el estado de un sistema. Un indicador es un medio del que dispone el hombre para observar con sus sentidos en un tiempo breve un fenómeno que escapa a su percepción normal (12,13).

El uso de técnicas de bioindicación, basadas en la identificación y estructuración de las comunidades de microorganismos que habitan los diferentes sistemas acuáticos, son una eficaz herramienta para evaluar la calidad de los cuerpos de agua(14).

Los bioindicadores son organismos cuya presencia, ausencia o condición específica proporciona información sobre la calidad ambiental. Cada organismo tiene requerimientos ambientales particulares para reproducirse exitosamente. La presencia o ausencia de poblaciones sanas de organismos dentro de su hábitat es signo de características ambientales específicas. La ventaja de utilizar bioindicadores sobre análisis químicos y físicos para evaluar la calidad del agua es que la presencia de organismos vivos provee información a través del tiempo. El estudio de la estructura de una comunidad descubre la actuación de agentes que inciden de forma discontinua y que pueden, por tanto, no ser detectados a través de análisis rutinarios. Los análisis químicos y físicos proporcionan información que es válida únicamente en el momento del muestreo. Por otro lado, las distintas respuestas del medio ante los contaminantes se reflejan mejor en las características de todo el ecosistema sometido a estrés, que en unos pocos parámetros a veces seleccionados de forma incorrecta(15,16).

El hecho de que determinados organismos puedan actuar como indicadores, se debe al bajo grado de tolerancia que éstos presentan ante pequeñas alteraciones del ambiente (organismos estenocicos), por lo tanto, el interés por su identificación es notable, ya que su presencia define cualitativamente el medio en que viven. Así, por ejemplo, en aguas muy polucionadas, es común la presencia de bacterias anaerobias (*Chlorochromatium aggregatum*), cianofitas de fangos en descomposición (*Oscillatoria putrida*), zooflagelados, ciliados y algas amarillas. En zonas menos degradadas con concentraciones significativas de oxígeno, se observa un descenso en la proporción de bacterias y un incremento generalizado de la diversidad, aparecen masas de cianofitas, diatomeas y algas verdes. En medios poco contaminados, con altas concentraciones de oxígeno y escasez de materia orgánica, se detecta una merma tanto en el número de especies como en la producción de organismos fotosintéticos (16).

La metodología de análisis basada en bioindicadores ha sufrido una importante evolución desde que se propuso la utilización de listas de organismos como indicadores de características del agua en relación con la mayor o menor cantidad de materia orgánica. Actualmente, los índices utilizados para medir la calidad de las aguas dulces se dividen en dos grandes grupos: índices de contaminación, los cuales examinan el descenso de organismos resultante de la progresiva degradación del medio; e índices relacionados con la estructura de la comunidad, los cuales se subdividen a su vez en: índices tróficos y taxonómicos, que estudian respectivamente la proporción de especies de cada nivel trófico y la composición taxonómica de la comunidad; de diversidad, que se basan en que los medios más estables por lo general, presentan una mayor diversidad. Por último los índices comparativos que tratan de cotejar distintas comunidades en tramos equivalentes de dos o más cursos de agua(16).

Los métodos biológicos para determinar la calidad de las aguas, han sido usados en Europa desde principios de siglo, sin embargo, sólo en la década de los 50 se tuvo mayor consideración en las respuestas que ofrecían plantas y animales como evidencia directa de la contaminación (12).

Para la selección de indicadores se deben tomar en cuenta ciertas recomendaciones y definiciones presentadas por Landres et.al 1998, Kremen 1992, Méndez et al 1995, Méndez 1997 y Noss 1990, las cuales se presentan a continuación:

Características de los indicadores

- Los indicadores deben ser suficientemente sensibles para dar rápida y suficiente información de los cambios que se desea evaluar.
- El indicador está ampliamente distribuido en los sitios de observación.
- El indicador provee continua evaluación sobre un amplio intervalo del estrés.
- El indicador es fácil de coleccionar, determinar y analizar.
- En el indicador se debe poder diferenciar, sus tendencias y cambios naturales de aquellos producidos por el tratamiento o impacto (2).

Entre los principales grupos de indicadores biológicos para la calidad del agua se encuentran: las algas, zooplancton y fitoplancton, coliformes totales y fecales, peces, macroinvertebrados, insectos.

E. Fitoplancton

1. Plancton

El hombre ha sabido de la existencia del plancton prácticamente desde el momento en que se detuvo a observar el mar y los lagos. El plancton fue descrito por primera vez por el oceanógrafo Víctor Hensen en 1887, para designar el conjunto de diminutos microorganismos heterogéneos y finamente divididos. Se define como un conjunto heterogéneo de organismos que viven en suspensión en las aguas de los océanos, lagos, estanques y ríos. Como son incapaces de moverse, o a lo sumo realizan movimientos erráticos, están a merced de las corrientes y de las olas(8,17). Pueden dividirse en dos grupos principales:

a. Zooplancton: Compuesto de animales, con excepciones son microscópicos o escasamente visibles a simple vista. El de agua dulce está integrado principalmente por protozoos (animales unicelulares) y rotíferos, que miden entre diez milésimas de milímetros y 0,5 mm de largo, junto con gran variedad de pequeños crustáceos, cuya longitud oscila entre los 0,50 y 0,25 mm. Protozoos y crustáceos son también los elementos dominantes del zooplancton marino, acompañados de medusas, algunos gusanos, moluscos diminutos y microscópicas fases larvarias de muchos animales que viven en el fondo del mar cuando son adultos.

b. Fitoplancton: Compuesto de vegetales, cuyos componentes son todos microscópicos. Tanto de mar como de agua dulce comprende bacterias, organismos afines a ellas y plantas verdes (algas) en forma de células aisladas o pequeñas colonias.

Las principales variables físico-químicas que influyen en la reproducción del plancton son: luz, temperatura, salinidad, pH y potencial redox. Generalmente las temperaturas óptimas van desde 15-22 °C. La salinidad, al igual que otras variables físicas, pueden afectar la composición y por lo tanto su valor nutritivo, el pH óptimo de crecimiento depende de la especie, y suele estar comprendido entre 7 y 8 (8).

2. Importancia del fitoplancton

El fitoplancton representa el primer eslabón de la cadena alimenticia; junto con las plantas superiores que habitan las aguas dulces, constituyen los organismos productores. La importancia del fitoplancton para la vida animal marina es comparable (cuando menos) a la del revestimiento vegetal de la tierra; pues además del recurso alimenticio que comporta, elimina el anhídrido carbónico y oxigena el agua. Las células vegetales retiran la materia mineral disuelta en el mar, particularmente los nitratos y los fosfatos, y la transforman en protoplasma. Las células vegetales son tan ávidas que se llega a pensar que esta materia mineral esencial se encuentra presente en más cantidad en los cuerpos de animales y plantas que disuelta en la misma agua (18,19).

En acuarios marinos y de agua dulce o tanques de cultivo, el fitoplancton ayuda a mantener la calidad del agua al remover el exceso de nutrientes y regulando el pH. Cada célula de alga actúa como un biofiltro.

3. Clasificación del fitoplancton

Cada cuerpo de agua posee un conjunto de formas planctónicas cuya variedad, abundancia y distribución le son propias y dependen de su adaptación a las características abióticas (temperatura, luz, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes) y bióticas (depredadores, parásitos, competencia). Entre los grupos más importantes pertenecientes al fitoplancton se encuentran, cianofitas, clorofitas, diatomeas, rotíferos, cladóceros y copépodos; las especies representadas pueden variar de una masa de agua a otra.

a. Cianofitas

Se llaman también Myxophyta, Schizophyta y, en fecha más reciente, Cianobacteria. Comúnmente se denominan algas verdiazules. El grupo comprende algas unicelulares y pluricelulares.

Algunos ejemplos de géneros representativos son: *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Lyngbyia* y *Oscillatoria*. Según McCarthy, las cianofitas tienen la capacidad de fijar el nitrógeno molecular, con lo cual pueden contribuir hasta con un 50% del total de nitrógeno fijado en un año.

Otra propiedad de las algas verdiazules es su toxicidad, las especies mencionadas como tóxicas comprenden *Microcystis aeruginosa*, *M. Flosaquae* y *Aphanizomenon flosaquae*, cuya acción sobre los animales no planctónicos (peces y ganado) puede causar daños severos y hasta la muerte (9).

b. Criptofitas

Los géneros más frecuentes en el agua dulce son: *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, *Chroomonas* y *Chilomonas*.

c. Dinofíceas

También llamada dinoflagelados, este grupo de algas ha poblado con mayor éxito las aguas marinas que las continentales. En el mar producen luminiscencia y , además son famosas como causantes de las mareas rojas.

En aguas continentales los géneros de dinoflagelados más comunes son: *Gymnodinium*, *Gleodinium*, *Peridinium*, *Ceratium* y *Gonyaulax*.

d. Crisofitas

Conocidas también como algas pardo-amarillentas, deben su color al β -caroteno y a algunas xantofilas. De las cinco clases representadas en el plancton, las de mayor importancia en las aguas continentales son las crisofíceas, las bacilarofíceas o diatomeas y las xantofíceas.

i. Crisofíceas

Este grupo de algas poseen una gran variedad de formas flageladas que pueden ser tanto solitarias como vivir en colonias. Algunos ejemplos de estas son, *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Uroglena*, *Chrysococcus* y *Stenocalyx*.

ii. Bacilarofíceas

Mejor conocidas como diatomeas, son las algas más importantes del plancton de muchos lagos. A esta clase pertenecen: *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Melosira*, *Rhizolenia*, *Nitzschia*, *Navícula*, *Fragilaria*, *Asterionella*, *Synedra*, *Tabellaria* y *Diatoma*.

iii. Xantofíceas

Se denominan también heterocontas y se caracterizan por su color verde-amarillento debido a la presencia de carotenoides. De los cinco órdenes de esta clase, sólo

dos están representados en el plancton, ya que la mayoría de las xantofíceas se encuentran asociadas a sustratos inmersos. Ejemplos de éstas son, *Gleochloris*, *Ophiocytium*, *Gleobotrys*, *Tribonema*.

e. Euglenofitas

Los géneros más frecuentes en el plancton son *Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas* y *Strobomonas*.

f. Clorofitas

Se denominan también algas verdes. Constituyen un grupo muy amplio y variado de algas unicelulares, de vida colonial y filamentosas.

Algunos géneros de mayor importancia son: *Chlamydomonas*, *Eudorina*, *Pandorina*, *Volvox*, *Gleocystis*, *Scenodesmus*, *Ankistrodesmus*, *Monoraphidium*, *Chlorella*, *Botryococcus*, *Coelastrum*, *Sphaerocystis*, *Kirchneriella*, *Dictyosphaerium*, *Staurastrum*, *Cosmarium*, *Staurodesmus*, *Closterium*, *Xanthidium*, *Euastrum*, *Micracasterias* (9).

4. Factores ambientales que influyen sobre la producción de fitoplancton

La abundancia de fitoplancton varía mucho a lo largo del año y de un lugar a otro. En ciertas estaciones del año, generalmente durante la época seca, se produce mucha cantidad de fitoplancton, y durante la época lluviosa, generalmente, el fitoplancton es muy escaso. La producción de nuevas células está determinada principalmente por la luz, la transparencia, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, mientras que su eliminación depende, entre otros factores de la abundancia del zooplancton herbívoro y de la sedimentación (9,20,21).

a) Luz y Temperatura

Las algas siendo organismos predominantemente fotosintéticos, requieren de la energía de la luz. Las diferentes especies tienen distintas combinaciones de pigmentos, y cada uno tiene un rango de absorción máximo. La energía solar absorbida por los distintos pigmentos es finalmente transferida a la clorofila-a.

La relativa intensidad de la luz es también importante para la producción de algas. Los cambios en la calidad del agua de oligotrófica a eutrófica, invariablemente conllevan la

disminución de la penetración de la luz debido al incremento del material disuelto y suspendido. Al mismo tiempo la eutroficación lleva al aumento de la producción autótrofa y por tanto al incremento de la producción del fitoplancton, lo cual puede dar lugar a una menor penetración de la luz.

La temperatura juega un papel importante, junto con la luz en la determinación de la periodicidad de las poblaciones de algas. Sin embargo los aumentos en la temperatura, no parecen ser variables tan importantes para la calidad del agua en lagos en comparación con los ríos (22).

b) Transparencia

La transparencia es la medida de que tan turbia es el agua. El plancton y la erosión son las fuentes más comunes de disminución de la transparencia. La disminución en la transparencia puede tener consecuencias positivas y negativas para la vida acuática, dependiendo de la fuente y cantidad de partículas suspendidas.

Al aumentar la producción de fitoplancton debido a la eutroficación, como se mencionó anteriormente, se disminuye la transparencia del agua y por tanto la penetración de la luz solar; las plantas acuáticas necesitan de la luz solar para la fotosíntesis, la cual produce el oxígeno. La reducción de la fotosíntesis resulta en bajas concentraciones de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono (15,22).

c) Nutrientes

La concentración de nutrientes puede también limitar, saturar o inhibir el crecimiento de las algas. El nitrógeno y el fósforo han sido considerados durante mucho tiempo como los principales nutrientes limitantes de la producción primaria. Por lo tanto, el aumento en las concentraciones de N y P son consideradas el mayor factor que promueva la eutroficación. Los aumentos en estos dos nutrientes, y otros, ha sido probablemente la mayor causa provocada por el hombre, de los cambios en la productividad de las aguas naturales.

El fósforo, que es esencial para la vida, escasea en el medio acuático, por lo que se considera con frecuencia limitante de la producción. Existen diferencias interespecíficas en la limitación de las tasas de crecimiento, de modo que dicho nutriente puede influir sobre la composición y dinámica poblacional del fitoplancton (9).

El nitrógeno es necesario para la síntesis de aminoácidos y proteínas algales. Las aguas superficiales en contacto con la atmósfera tienen en ella una reserva permanente de nitrógeno. En los lagos, las algas son capaces de utilizar varias formas de nitrógeno que incluyen nitratos, nitritos y amonio, así como algunos compuestos orgánicos nitrogenados solubles. La fijación de nitrógeno atmosférico por las algas es una propiedad exclusiva de las cianofíceas, y depende de la luz.

Además del nitrógeno y el fósforo, para ciertas algas con estructuras esqueléticas silíceas, como las diatomeas y las crisofíceas, el silicio es un nutriente esencial. Las demás lo necesitan en cantidades mínimas para la síntesis de proteínas y carbohidratos (9,22).

5. Fitoplancton como indicador

Dadas sus necesidades nutricionales, su posición en la base de las redes alimentarias acuáticas y su capacidad de responder de forma rápida y previsible a un amplio espectro de agentes contaminantes, el fitoplancton es tal vez el más promisorio de todos los indicadores de alerta temprana de cambios en las características de los cuerpos de agua, en el caso específico de este estudio de los humedales, causados por productos químicos. Además, su sensibilidad a las variaciones de los niveles de nutrientes hace que represente un indicador ideal para evaluar la eutrofización (23).

Se considera que cuanto mayor es la diversidad de especies presentes en el medio las aguas son de mejor calidad. Aunque se deben tener en cuenta siempre el nivel de nutrientes y minerales, el estudio de la biología de las algas, principalmente de sus formas, puede indicar la presencia de factores adversos a su crecimiento y desarrollo, tal como lo son los metales pesados, los que provocan malformaciones celulares en casi todas las especies o la desaparición de muchas de ellas (11,24).

La representación de ciertas especies del plancton es indicativa de un cierto estado trófico, según los estudios realizados. Por ejemplo, muchas especies de cianobacterias han sido encontradas en aguas eutróficas y parece ser que dichos organismos son más abundantes en este tipo de aguas que en aguas oligotróficas. Esta mayor abundancia de cianobacterias en aguas eutrofizadas puede deberse a uno o varios factores dentro de los cuales cabe mencionar la capacidad que tienen en general, para desarrollarse en ambientes con bajas concentraciones de dióxido de carbono, condiciones que se dan en agua que poseen altas densidades de algas producto del enriquecimiento de nutrientes.

Otro factor que influye para que algunos géneros de cianobacterias como *Microcystis*, sean muy numerosas en este tipo de agua es que, por su modo de vida y por los pigmentos fotosintéticos que poseen, aprovechan mejor la luz e impiden el paso de la misma a los estratos inferiores de la masa de agua impidiendo el desarrollo masivo de muchas clorofitas (9,25).

En aguas oligotróficas es común encontrar especies dominantes de desmicias como *Staurodesmus* y *Staurastrum*; diatomeas como *Cyclotella*. En estudios realizados en los lagos de Norte América, se ha concluido que *Asterionella*, *Tabellaria*, y *Melosira islandica*, frecuentemente asociadas con *Dinobryon*, son los géneros de fitoplancton más usuales en aguas oligotróficas (26).

Como los anteriores hay diversidad de ejemplos de asociaciones de fitoplancton que se dan bajo condiciones específicas en un cuerpo de agua, esto coloca a las algas como una herramienta de gestión ambiental, razón por la cual su estudio se ubica dentro del área de interés del manejo y conservación de los recursos naturales.

6. Métodos de estudio del fitoplancton

a. Recolección

Los métodos para la recolección del fitoplancton pueden agruparse en dos categorías:

1. Recipientes captadores, como la botella de Van Dorn, los cuales son diseñados para extraer un cierto volumen de agua que luego debe ser concentrado por sedimentación o filtración para reunir el plancton en un volumen pequeño de agua.
2. Redes, para la filtración in situ del plancton. Son los instrumentos de recolección más antiguos y de uso más generalizado. Consisten en una abertura circular rígida a la cual se fija una red de forma cónica que lleva un recipiente colector en su extremo más delgado. Se les desplaza en una trayectoria vertical, horizontal u oblicua, mientras el agua se filtra a través de la malla. Los organismos retenidos por la malla son concentrados en el recipiente terminal. Para este estudio será utilizada una red de fitoplancton con una porosidad de 20 micras. Entre las ventajas de utilizar estas redes, se tiene que permiten la concentración del fitoplancton contenido en un

gran volumen de agua. Además son livianas y poco voluminosas, por lo tanto fáciles de transportar a cualquier lugar (9,27).

b. Preservación

Lo mejor para preservar el fitoplancton es la solución de lugol en cantidad suficiente para obtener una concentración final en la muestra de 1% (unas 20 gotas para 100 ml de agua). Como el lugol se oxida fácilmente, las muestras deben guardarse en la oscuridad.

También puede utilizarse la solución de formalina neutralizada a fin de obtener una concentración final de 0.5 a 2%, pero este preservante tiende a romper o a deformar las células (9,27).

F. Coliformes

El análisis microbiológico de muestras de agua tiende a determinar la calidad sanitaria de éstas y su aptitud para distintos usos. En general, los métodos utilizados están diseñados de modo de detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal. Tradicionalmente se han usado ensayos para la determinación de microorganismos indicadores más que para la determinación de patógenos.

El grupo de bacterias coliformes ha sido siempre el principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua; el número de coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y por lo tanto, de calidad sanitaria de la misma. Los coliformes son bacilos gram negativo, aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa con formación de gas cuando se incuban de 24 a 48 horas a 35°C. También interesa la determinación de coliformes fecales que representan la fracción de coliformes, en general, de intestinos y materias fecales de hombre y animales de sangre caliente. (coliformes termotolerantes), en este grupo se incluye *Escherichia coli* (28).

Los microorganismos patógenos, como algunas bacterias, virus y parásitos, en el agua para beber pueden causar enfermedad en los humanos. Para verificar si el agua es apta para beber, debe ser analizada para buscar la presencia de microorganismos dañinos. Estos microorganismos son difíciles de detectar en el agua, debido a que no se encuentran en grandes cantidades, y no pueden sobrevivir mucho tiempo fuera del cuerpo humano o animal. Sin embargo, algunas clases de bacterias coliformes coexisten naturalmente con

patógenos dentro de los intestinos en animales de sangre fría y caliente. Estas bacterias son beneficiosas en los intestinos de los humanos y otros animales como ayuda en la digestión, y son excretadas a través de las heces fecales, lo cual facilita su determinación.

Enfermedades como la hepatitis, disentería, fiebre tifoidea e infecciones del oído, pueden contraerse en aguas con altos niveles de coliformes fecales (28, 29).

1. Importancia de los organismos Coliformes

El uso de organismos intestinales normales como indicadores de contaminación fecal, en lugar de los patógenos mismos, es un principio de aceptación universal en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana en los sistemas de abastecimiento de agua. Lo ideal sería que el hallazgo de dichas bacterias indicadoras denotara la presencia posible de todos los organismos patógenos pertinentes.

Las exigencias a las que debe responder un organismo indicador se pueden agrupar en:

a. Epidemiológicas: La relación entre un indicador, su naturaleza o concentración y la probabilidad de aparición de infecciones en la población debe establecerse a partir de estudios o encuestas epidemiológicas.

b. Ecológicas: Un buen indicador debe ser específico de contaminación fecal; debe hallarse de forma constante en las heces de los animales de sangre caliente y estar asociado de forma exclusiva a las aguas residuales. Es decir, su presencia en ambientes no polucionados debe ser mínima o nula.

c. Bacteriológicas: Los organismos indicadores deben ser más resistentes que los patógenos a los agentes desinfectantes y por otra parte, ser incapaces de reproducirse o crecer, en el ambiente acuático.

d. Taxonómicas: Los organismos indicadores deben ser fácilmente reconocibles y clasificables en especies de acuerdo con los criterios bacteriológicos existentes.

e. Metodológicas: Un buen organismo indicador debe ser fácilmente aislable, identificable y enumerable en el menor tiempo posible y con el menor costo. Debe ser capaz de crecer en los medios de cultivo empleados, estar distribuido al azar en las muestras y ser resistente a la inhibición de su crecimiento por otras especies (29).

En la práctica, todos estos criterios no pueden darse en un solo organismo, aunque las bacterias coliformes cumplen muchos de ellos, por ejemplo: están siempre presentes en aguas que contienen patógenos entéricos, su tiempo de supervivencia es muy superior al de microorganismos productores de enfermedades: Mc Feters y colaboradores señalan que mientras un coliforme sobrevive una media de 17 horas, una *Salmonella typhi* tiene una vida media de 6 horas y un *Vibrio cholerae* tiene una vida media de 7,2 horas, razón por la cual puede suponerse que en la mayoría de los casos en los cuales el agua no contenga coliformes estará libre de bacterias productoras de enfermedades. Por otra parte, el mejor indicador conocido de contaminación fecal de origen humano o animal es la presencia de coliformes fecales, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la microbiota intestinal, y, de ellos, entre un 90% y un 100% son *E. coli* mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (29).

2. Importancia de la *Escherichia coli*

Además de las características ya citadas, de todos los organismos coliformes, solo *E. coli* tiene un origen específicamente fecal, pues está siempre presente en grandes cantidades en las heces de los seres vivos de sangre caliente y rara vez se encuentran en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal. Por tanto, se considera que la detección de éstos como organismos fecales o la presunción de *E. coli* constituye una información suficiente como para estimar la naturaleza fecal de dicha contaminación.

En base a estudios realizados, Flanagan ha resumido la interpretación de la presencia de *E. coli* como sigue: "Cuando *E. coli* está presente en un gran número, la interpretación es que ha tenido lugar una polución fuerte y/o reciente por desechos animales o humanos. Si el número de *E. coli* es pequeño indica que la polución, del mismo tipo, es menos reciente o menos importante. Si se detectan coliformes pero no *E. coli* esto indica que la polución es reciente pero de origen no fecal o de origen fecal pero lejano, de modo que los coliformes intestinales no han sobrevivido" (29).

Otra característica importante de las *E. coli*, es que pueden ser vectores de algunas enfermedades, en este caso se trata de *E. coli* patógenas, de las cuales existen varios serotipos diferentes capaces de causar gastroenteritis en humanos y animales, siendo

éstas especialmente serias en recién nacidos y niños de edad inferior a 5 años. Pese a que se considera que las *E. coli* patógenos representan menos del 1% del total de coliformes presentes en el agua contaminada, basta con 100 organismos para causar una enfermedad.

Entre los diversos tipos de *E. coli* patógenas podemos diferenciar:

a. *E. coli* enteropatógena (EPEC): Son aquellas cepas asociadas a diarreas infantiles, denominadas a menudo gastroenteritis infantiles (GEI)

b. *E. coli* enterotoxigénica (ETEC): Son *E. coli* capaces de producir enterotoxinas LT (enterotoxina termolábil), bastante parecida a la toxina del cólera y ST (enterotoxina termoestable), que parece encubrir a un grupo de varias tóxicas parecidas. En la actualidad los *E. coli* ETEC constituyen una de las principales causas de diarrea infantil en los países en vías de desarrollo. Son también los agentes más frecuentes de la llamada diarrea del viajero; enfermedad que se produce habitualmente a los 4-6 días de llegada a otro país, generalmente tropical.

c. *E. coli* enteroinvasivas (EIEC): Algunas cepas de *E. coli* pueden ser responsables de un cuadro clínico disentérico similar al de *Shigella*. La enfermedad se caracteriza por signos de toxemia con malestar, fiebre, intensos dolores intestinales y heces acuosas con sangre, mucus y pus.

d. *E. coli* productora de verotoxina (VTEC): Es causa de diarrea, que tienen graves secuelas: colitis hemorrágica y posiblemente síndrome urémico hemolítico (29).

3. Análisis de Coliformes

El análisis de coliformes se puede llevar a cabo de diversas formas: métodos basados en el número más probable (NMP), de presencia-ausencia (P/A), basados en la filtración por membrana (MF) y métodos cromogénicos y/o fluorogénicos basados en reacciones específicas de estos microorganismos (30).

Actualmente, los métodos NMP están en claro retroceso frente a las otras opciones. Entre los incluidos en la MF hay variaciones en el medio utilizado: puede ser Tergitol TTC, Endo gelose, Agar de Chapman, Hektoen Agar, Levine EMB, Agar verde brillante-bilis, etc. e incluso en la forma de hacerlo: puede ser una filtración directa e incubación sobre una

placa que contenga el medio o bien usar discos de cartón nutriente que se empapan con el medio. Los medios P/A tienen una desventaja inicial y que su nombre indica: no reflejan la "cantidad de contaminación" (número de colonias que se desarrollan) del agua analizada. En los medios cromogénicos y/o fluorogénicos, basados en reacciones con indicadores específicos (tecnología de sustrato definido), se produce un cambio de coloración o emisión de fluorescencia en caso de estar presentes organismos coliformes y *E. coli* respectivamente. y los otros medios -los usados tradicionalmente en MF y NMP- no son selectivos, solo son presuntivos (29,30).

G. Estudios realizados en el Parque Nacional Laguna del Tigre –PNLT-

En 1992, Basterrechea, realizó el estudio Hidrología y Limnología de los Humedales del Biotopo Río Escondido-Laguna del Tigre, en éste se analizó la calidad del agua en los humedales, tomando en cuenta parámetros físico-químicos y análisis de fitoplancton. En esa ocasión se identificó la presencia de cianofíceas en algunas lagunas, lo cual se tomó como indicación de un proceso de eutrofización y contaminación. A pesar de los yacimientos de hidrocarburos en el área, así como de pozos de explotación no se detectaron residuos en los cuerpos de agua monitoreados (31).

En 1996, Carballos realizó un estudio para determinar el impacto de las actividades petroleras de la compañía Basic Resources International Ltd. tomando datos físico-químicos de la calidad del agua, limitándose a las áreas de influencia, específicamente el campo Xan (3).

En 1999, se llevó a cabo el Informe de Evaluación Rápida para la Laguna del Tigre (Aquirap, 9-30 de abril), en dicha ocasión se llevó a cabo un estudio de la calidad del agua, realizando análisis de coliformes totales y fecales, y la identificación de poblaciones de fitoplancton. Se encontró que la calidad del agua en el parque en general fue buena, ya que se detectaron coliformes en el 37% de las muestras, y coliformes fecales en un 13%. Respecto al fitoplancton, se registraron cincuenta y nueve géneros y 71 especies y morfoespecies, diatomeas, seguido por clorofitas y cianofitas, dominaron las muestras. La fuente más importante que determinó la composición del fitoplancton fue el pH y la conductividad (1,2).

Durante los meses de Septiembre-October de 1999, Ovalle, M.M. realizó la investigación "Línea Base del Fitoplancton y Parámetros Físico-químicos en cuerpos de

agua del Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén, Guatemala". En este describió a los cuerpos del agua del parque como ambientes desde oligotróficos a eutróficos, al estar presentes los géneros *Peridinium*, *Meridion*, *Microcystis* y *Fragilaria*. Estos géneros mostraron un aumento de sus densidades en regiones donde existe influencia antropogénica. La presencia de coliformes fecales y *E. coli* fue positiva para todos los puntos de muestreo, con excepción de una sola laguna (2).

Castañeda Moya, en el 2000 realizó el estudio piloto para el Monitoreo de la Calidad del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, en el cual se determinó que la contaminación por heces fecales puede ser un factor de gran incidencia en la salud de los pobladores del parque. Para los puntos San Pedro, Yalá, Paso Caballos, Flor de Luna, La Pista y Candelaria no fue detectada la presencia de *E. coli* durante la expedición Aquarap; sin embargo, durante este trabajo sí fue registrada, lo cual indica que el problema de contaminación por heces fecales se vio agravado durante el invierno debido al arrastre ocasionado por el agua de lluvia (32).

Hasta la fecha no se ha realizado ningún estudio en el que se caractericen las poblaciones de fitoplancton tanto en época seca como en época lluviosa, lo cual se considera necesario para establecer géneros indicadores de deterioro de la calidad del agua. Además es necesario demostrar la presencia de coliformes totales y fecales, debida a la influencia antropogénica cada vez mayor en el Parque.

IV. JUSTIFICACIÓN

El Parque Nacional Laguna del Tigre es considerado como el humedal de mayor importancia en Guatemala, además de ser una de las áreas protegidas de mayor extensión. Sin embargo el deterioro general de esta reserva se ha visto acelerado en los últimos años debido al aumento de la colonización como consecuencia de la introducción de la actividad petrolera.

Hasta la fecha únicamente se han realizado pocos estudios en este parque que evalúen la calidad del agua, sin embargo, estos han sido tomando un solo muestreo o en una sola época del año. Por lo tanto se considera necesario llevar a cabo un estudio en el que se pueda describir la variación de las especies de fitoplancton presentes en los cuerpos de agua tanto en la época seca como lluviosa, para así poder determinar cuales pueden tomarse en cuenta como indicadores para posteriores planes de monitoreo. Al mismo tiempo es de gran importancia evaluar la presencia de coliformes totales y fecales, ya que estos son los principales indicadores de contaminación causada por material fecal, tanto de origen humano como animal, y debido a que el agua está siendo utilizada por las personas de las comunidades para su consumo.

Con este estudio se espera obtener resultados que sean de beneficio para proponer planes de mejoramiento que contribuyan a la conservación de estos recursos hídricos.

V. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

1. Evaluar la calidad de los cuerpos de agua del PNLT y el estado de contaminación en que se encuentran debido a la actividad petrolera y la colonización, utilizando para ello indicadores biológicos, específicamente fitoplancton y coliformes totales y fecales.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar la diversidad de géneros de fitoplancton del PNLT, durante la época seca y la época lluviosa.
2. Comparar la variación de especies en las poblaciones de fitoplancton durante la época seca y lluviosa de los puntos seleccionados.
3. Demostrar la contaminación de los cuerpos de agua causada por la colonización humana, por medio del análisis cualitativo de coliformes totales y fecales.
4. Identificar los cuerpos de agua que se encuentran contaminados por la presencia de coliformes totales y fecales.
5. Relacionar las poblaciones de fitoplancton y coliformes, durante la época seca y lluviosa con los niveles de nutrientes.

VI. HIPÓTESIS

El presente estudio no plantea hipótesis de investigación, puesto que se trata de un análisis descriptivo.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. UNIVERSO

Cuerpos de agua que se encuentran dentro del Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén.

1. MUESTRA

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| - Laguna La Pista | Fitoplancton y coliformes |
| - Río Candelaria | Fitoplancton y coliformes |
| - Laguna Guayacán | Fitoplancton y coliformes |
| - Laguna Flor de Luna | Fitoplancton y coliformes |
| - Laguna Pozo Xan | Fitoplancton y coliformes |
| - Laguna Buena Vista | Fitoplancton y coliformes |
| - Laguna El Toro | Coliformes |
| - Laguna Las Puertas | Coliformes |
| - Arroyo La Mancuernadora | Coliformes (Anexo 2) |

El muestreo se llevó a cabo en cuatro viajes de campo, con una duración de cinco días cada uno, dos en época seca y dos en época lluviosa. Las muestras se colectaron en la superficie de la columna de agua, midiendo profundidad, visibilidad y observando la presencia de macrofitas. El total de muestras colectadas para fitoplancton fue de 24, y para coliformes 40.

B. RECURSOS

1. RECURSOS HUMANOS

Tesista: Scarlett Alejandra Cano Sánchez

Asesora: Licda. Karin Herrera

2. RECURSOS MATERIALES

- a. Equipo
 - Lancha
 - Hielera
 - Autoclave
 - Cámara de Sedwick-Rafter

- Microscopio
- Disco Secchi
- Red de fitoplancton de 20 μm
- Balanza

b. Reactivos

- Solución de Lugol
- Formalina
- Reactivo de Kovacs
- Readycult de Merck
- Agua desmineralizada

c. Instrumentos y otros

- Frascos plásticos de 100 ml de boca ancha con tapón de rosca
- Frascos plásticos estériles de 100 ml de boca ancha con tapón de rosca
- Cubeta aforada de 30 litros
- Píseta de 500 ml
- Papel aluminio
- Maskin tape
- Marcadores indelebles
- Papel encerado
- Papel limpia lentes
- Lazo plástico
- Lámpara de luz UV
- Libreta de campo
- Claves para la identificación de fitoplancton de agua dulce
- Computadora
- Impresora
- Hojas

C. METODOLOGÍA

1. Análisis de Fitoplancton

Para el estudio de la población de fitoplancton las muestras fueron recolectadas utilizando una red de fitoplancton con una porosidad de 20 μm , para ello se filtran 50 litros de agua con una cubeta aforada de 30 litros y se concentra la muestra a 100 ml, se preservan con solución de lugol y en oscuridad.

La identificación del fitoplancton se realizó mediante un examen microscópico con un aumento de 20X, utilizando la cámara de Sedwick-Rafter y claves dicotómicas adecuadas.

También se llevó a cabo la medición de la profundidad y transparencia del agua, utilizando para ello un disco Secchi (Anexo 3).

2. Análisis de Coliformes

Se realizó un análisis de presencia ausencia, para coliformes totales y fecales. Para ello se utilizó el medio Readycult de Merck.

a. Descripción del medio

La combinación de dos sustratos, uno fluorogénico (MUG) y otro cromogénico (X Gal), proporciona la detección simultánea de las Coliformes totales y de *E. coli*. Los coliformes al poseer el enzima β -galactosidasa, producen un color azul-verdoso al hidrolizar el sustrato cromogénico X-Gal. La identificación de *E. coli* es posible debido a la fluorescencia que se produce al metabolizar esta bacteria el sustrato fluorogénico MUG mediante el enzima β -D-glucuronidasa. También puede efectuarse directamente en el medio la prueba confirmativa del indol mediante la adición de unas gotas de reactivo de Kovacs. La reacción es positiva si se produce un halo rojizo en la parte superior del medio.

b. Procedimiento

1. Se toman 100 ml de agua en un recipiente estéril. Si el cuerpo de agua tiene corriente, se coloca el frasco contracorriente.
2. Se destapa una cápsula conteniendo el medio Readycult, se echa en el agua, se tapa y se agita hasta que se disuelva.
3. Se incuba la muestra durante 18 a 24 horas a 36°C y se leen los resultados.
(Anexo 4)

D. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

1. Muestreo

a) Fitoplancton: Se colectaron 24 muestras de fitoplancton, 6 por cada muestreo, utilizando la metodología descrita anteriormente.

b) Coliformes: Se colectaron un total de 40 muestras de agua, 10 por cada muestreo, las cuales fueron analizadas utilizando el medio Readycult de Merck, descrito anteriormente.

2. Variables de interés

Fitoplancton y Coliformes.

3. Análisis de resultados

a) Fitoplancton: El análisis se realizó mediante la identificación microscópica de géneros, utilizando claves dicotómicas.

b) Coliformes: Se analizaron utilizando un método cualitativo de presencia-ausencia.

VIII. RESULTADOS

A. FITOPLANCTON

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el análisis de las muestras de fitoplancton obtenidas en seis puntos de muestreo durante la época seca y lluviosa en el Parque Nacional Laguna del Tigre y en los Anexos se presentan los resultados de las mediciones de pH, Temperatura y análisis fisicoquímicos realizados por el estudio "Calidad Fisicoquímica del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén", ambos estudios llevados a cabo simultáneamente durante el año 2002 (35).

En las tablas 1 a 6 se presentan todos los géneros identificados en cada uno de los puntos de muestreo durante la época seca y lluviosa. Para los seis puntos de muestreo se estableció un patrón de abundancia según el número de géneros identificados el cual de mayor a menor se presentó de la siguiente forma: Clorofitas (38 géneros), Diatomeas (16 géneros), Cianofitas (12 géneros) y Dinofitas (6 géneros) (Gráfica No. 1).

De cada una de las divisiones hay géneros que son comunes y que aparecen durante los cuatro muestreos, estos suelen ser géneros indicadores de algún estado de la calidad del agua, como: *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Peridinium*, *Staurastrum*, *Synura*, *Staurastrum*, *Navicula*, *Nitzschia* (tablas 1 - 6).

Luego de éstos, sobresalen géneros que únicamente se presentaron ya sea durante la época seca o la época lluviosa.

En todos los puntos muestreados se tomaron los datos de la profundidad y la visibilidad de los cuerpos de agua utilizando un Disco Secchi, los resultados se presentan en la tabla No. 7, en los cuales se puede observar que durante los últimos muestreos la profundidad total del agua disminuyó en la mayoría de los puntos, como consecuencia de la evaporación durante la época seca.

Durante los cuatro muestreos el pH del agua en las lagunas y ríos muestreados presentó un intervalo de 6.74 a 9.47, siendo las lagunas El Toro y La Pista las que presentaron los valores más altos durante los cuatro muestreos. A excepción del valor de 9.47 en la laguna El Toro, los valores de pH se encuentran dentro del rango según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA, que establece que el rango de pH para agua dulce es de 6.5 a 9.0 (35)(Anexo 5).

Del mismo modo se presentan en Anexo 6 los resultados de los niveles de nitrógeno como nitratos y nitritos, fósforo y relación nitrógeno-fósforo (35).

En la Tabla No. 1 se presentan los Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna La Pista, en ésta las Clorofitas fueron las que presentaron mayor cantidad de géneros. Además se identificaron géneros indicadores como *Microcystis* y *Dynobryon*.

TABLA NO. 1 Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna La Pista, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Tetraedrom</i>	x	x	x	x
2. <i>Spirogyra</i>	x			
3. <i>Ankistrodesmus</i>	x	x	x	x
4. <i>Pediastrum</i>	x	x	x	x
5. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
6. <i>Tribonema</i>	x			
7. <i>Oocystis</i>	x			
8. <i>Sphaerocystis</i>	x			
9. <i>Desmidium</i>	x			
10. <i>Selenastrum</i>	x			
11. <i>Botryococcus</i>	x			
12. <i>Coelastrum</i>	x	x	x	x
13. <i>Scenodesmus</i>	x	x	x	x
14. <i>Closterium</i>	x			
15. <i>Dictyosphaerium</i>	x	x		
16. <i>Phytoconis</i>	x			
17. <i>Cladophora</i>	x	x	x	x
18. <i>Kirchneriella</i>		x	x	x
19. <i>Mougeotia</i>		x		
20. <i>Hydrodictyon</i>		x		
21. <i>Cosmarium</i>		x	x	x
22. <i>Euastrum</i>				x
23. <i>Staurodesmus</i>				x

Diatomeas

1. <i>Fragilaria</i>	X	X	X	X
2. <i>Rhizolenia</i>	X	X		
3. <i>Navícula</i>	X	X	X	X
4. <i>Asterionella</i>	X			
5. <i>Synedra</i>	X	X		
6. <i>Nitzchia</i>	X			
7. <i>Pinnularia</i>	X			
8. <i>Diatoma</i>	X	X	X	X
9. <i>Cyclotella</i>	X			
10. <i>Melosira</i>			X	X
11. <i>Gomphonema</i>	X	X	X	X

Cianophyta

1. <i>Gomphosphaeria</i>	X	X		
2. <i>Microcystis</i>	X	X	X	X
3. <i>Anabaena</i>	X	X	X	X
4. <i>Merismopedia</i>	X		X	X
5. <i>Oscillatoria</i>	X	X	X	X
6. <i>Rivularia</i>	X		X	
7. <i>Lyngbia</i>	X			
8. <i>Nodularia</i>	X			
9. <i>Spirulina</i>	X	X	X	

Dinophyta

1. <i>Peridinium</i>	X	X	X	X
2. <i>Synura</i>	X			
3. <i>Euglena</i>	X			
4. <i>Dynobryon</i>	X	X		

En la Tabla No. 2 se presentan los Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Guayacán, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT. Las clorofitas presentaron la mayor cantidad de géneros. En este punto de muestreo fue en el que se encontró la menor abundancia de géneros y el agua se presentó con una visibilidad total durante los cuatro muestreos.

TABLA NO. 2 Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Guayacán, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Crucigenia</i>	x			
2. <i>Cladophora</i>	x	x		
3. <i>Ankistrodesmus</i>	x	x	x	x
4. <i>Closterium</i>	x	x	x	x
5. <i>Cosmarium</i>	x	x	x	x
6. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
7. <i>Euastrum</i>	x	x	x	x
8. <i>Mougeotia</i>	x			
9. <i>Tribonema</i>	x			
10. <i>Tetraedron</i>		x	x	x
11. <i>Phytoconis</i>		x		
12. <i>Spirogyra</i>		x	x	
13. <i>Hydrodictyon</i>			x	
14. <i>Kirchneriella</i>			x	x
15. <i>Scenodesmus</i>				x
16. <i>Pediastrum</i>				x
Diatomeas				
1. <i>Fragilaria</i>	x	x	x	x
2. <i>Diatoma</i>	x	x	x	x
3. <i>Navícula</i>	x	x	x	x
4. <i>Synedra</i>	x	x		
5. <i>Eunotia</i>		x	x	
6. <i>Pinnularia</i>		x		
7. <i>Melosira</i>			x	
8. <i>Nitzchia</i>			x	x

Cianophyta

1. <i>Anabaena</i>	X	X	X	X
2. <i>Microcystis</i>	X	X	X	X
3. <i>Gomphosphaeria</i>	X			
4. <i>Merismopedia</i>	X	X	X	X
5. <i>Oscillatoria</i>	X	X	X	X
6. <i>Arthrospira</i>		X		
7. <i>Spirulina</i>			X	X

Dinophyta

1. <i>Peridinium</i>	X	X	X	X
2. <i>Synura</i>		X	X	
3. <i>Dynobryon</i>		X	X	

En la Tabla No. 3 se presentan los géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Flor de Luna, las clorofitas fueron las más diversas, y esta laguna presentó la mayor abundancia, sobresalen géneros indicadores como *Microcystis*, *Oscillatoria* y *Peridinium*.

TABLA NO. 3 Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Flor de Luna, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
2. <i>Euastrum</i>	x		x	x
3. <i>Closterium</i>	x	x		x
4. <i>Coelastrum</i>	x	x	x	x
5. <i>Tetraedrom</i>	x	x	x	x
6. <i>Eudorina</i>	x			x
7. <i>Spirogyra</i>	x			
8. <i>Cladophora</i>	x	x		x
9. <i>Hydrodictyon</i>	x		x	
10. <i>Microspora</i>	x			
11. <i>Cosmarium</i>		x	x	x
12. <i>Scenodesmus</i>		x	x	x
13. <i>Ulothrix</i>		x		
14. <i>Crucigenia</i>		x		x
15. <i>Vaucheria</i>		x		
16. <i>Staurodesmus</i>			x	x
17. <i>Ankistrodesmus</i>			x	x
18. <i>Kirchneriella</i>			x	x
19. <i>Micrasterias</i>				x
20. <i>Zygnema</i>				x
21. <i>Chlorella</i>	x			
Diatomeas				
1. <i>Fragilaria</i>	x	x	x	x
2. <i>Nitzschia</i>	x			
3. <i>Navícula</i>	x	x	x	x
4. <i>Diatoma</i>		x		x
5. <i>Eunotia</i>		x		
6. <i>Gomphonema</i>		x	x	x
7. <i>Asterionella</i>				x

Cianophyta

1. <i>Chroococcus</i>	x			
2. <i>Microcystis</i>	x	x	x	x
3. <i>Gomphosphaeria</i>	x	x	x	
4. <i>Anabaena</i>	x	x	x	x
5. <i>Lyngbia</i>	x			
6. <i>Spirulina</i>	x	x	x	x
7. <i>Oscillatoria</i>	x	x	x	x
8. <i>Calothrix</i>		x		
9. <i>Merismopedia</i>			x	

Dinophyta

1. <i>Peridinium</i>	x	x	x	x
2. <i>Synura</i>		x		
3. <i>Dynobryon</i>		x		
4. <i>Gonium</i>			x	
5. <i>Euglena</i>	x			

En la Tabla No. 4 se presentan los Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Pozo Xan, como en los puntos anteriores, las Clorofitas fueron las que presentaron mayor cantidad de géneros, sin embargo, aunque con pocos géneros las Cianofitas fueron las más abundantes, con géneros indicadores de mala calidad del agua como *Microcystis*, *Anabaena* y *Oscillatoria*, presentes en los cuatro muestreos.

TABLA NO. 4 Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Pozo Xan, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Zygnema</i>	x	x	x	x
2. <i>Kirchneriella</i>	x	x	x	x
3. <i>Ankistrodesmus</i>	x	x	x	x
4. <i>Pandorina</i>	x			x
5. <i>Cladophora</i>	x	x		x
6. <i>Cosmarium</i>	x	x	x	x
7. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
8. <i>Euastrum</i>	x		x	x
9. <i>Microcactinium</i>	x			
10. <i>Coelastrum</i>	x		x	x
11. <i>Tetraedron</i>	x	x	x	x
12. <i>Scenodesmus</i>	x	x	x	x
13. <i>Tetraspora</i>	x			
14. <i>Stauroidesmus</i>	x	x	x	x
15. <i>Dictyosphaerium</i>	x	x	x	x
16. <i>Tribonema</i>	x			
17. <i>Desmidium</i>	x	x	x	x
18. <i>Micrasterias</i>	x	x	x	x
19. <i>Closterium</i>	x	x	x	x
20. <i>Ulothrix</i>	x			
21. <i>Vaucheria</i>		x		
22. <i>Oocystis</i>		x		
23. <i>Eudorina</i>		x	x	x
24. <i>Hydrodictyon</i>		x		
25. <i>Sphaerocystis</i>		x	x	
26. <i>Spirogyra</i>	x			
27. <i>Selenastrum</i>			x	x

Diatomeas				
1. <i>Navicula</i>	X	X	X	X
2. <i>Fragilaria</i>	X	X		X
3. <i>Diatoma</i>	X	X	X	X
4. <i>Cyclotella</i>	X			
5. <i>Asterionella</i>	X	X	X	
6. <i>Nitzschia</i>	X	X		
7. <i>Pinnularia</i>	X	X		X
8. <i>Synedra</i>	X	X	X	
9. <i>Rhizolenia</i>	X	X		
10. <i>Stauroneis</i>	X			
11. <i>Melosira</i>		X		X
12. <i>Eunotia</i>		X	X	X
13. <i>Tabellaria</i>			X	X
Cianophyta				
1. <i>Gomphosphaeria</i>	X	X	X	
2. <i>Spirulina</i>	X	X		
3. <i>Microcystis</i>	X	X	X	X
4. <i>Oscillatoria</i>	X	X	X	X
5. <i>Anabaena</i>	X	X	X	X
6. <i>Lyngbya</i>	X			
7. <i>Merismopedia</i>	X			
Dinophyta				
1. <i>Dinobryon</i>	X	X	X	X
2. <i>Peridinium</i>	X	X	X	X
3. <i>Synura</i>	X	X	X	

En la Tabla No. 5 se presentan los Géneros de Fitoplancton identificados en la laguna Bella Vista, en esta laguna el género más abundante fue *Microcystis*, seguido por *Anabaena*, *Oscillatoria* y *Dynobryon*, presentes durante los cuatro muestreos, lo cual refleja que esta laguna se encuentra en estado de eutroficación, el cual se ve acelerado por la presencia de la población que se sirve de ella para usos domésticos.

TABLA NO. 5 Géneros de Fitoplancton identificados en la Laguna Bella Vista, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
2. <i>Scenodesmus</i>	x	x	x	x
3. <i>Pediastrum</i>	x		x	x
4. <i>Kirchneriella</i>	x	x	x	x
5. <i>Desmidium</i>	x	x	x	x
6. <i>Tetraedron</i>	x	x	x	x
7. <i>Coelastrum</i>	x	x	x	x
8. <i>Cosmarium</i>	x	x	x	x
9. <i>Closterium</i>	x	x	x	x
10. <i>Ankistrodesmus</i>	x	x	x	x
11. <i>Micrasterias</i>	x			
12. <i>Cladophora</i>	x	x	x	x
13. <i>Crucigenia</i>	x	x		x
14. <i>Microspora</i>	x	x		
15. <i>Ophiocytium</i>	x			x
16. <i>Botryococcus</i>	x			
17. <i>Sphaerocystis</i>	x	x		
18. <i>Spirogyra</i>	x	x		x
19. <i>Zygnema</i>	x			x
20. <i>Mougeotia</i>	x	x		
21. <i>Pandorina</i>	x			
22. <i>Staurodesmus</i>	x		x	x
23. <i>Hydrodictyon</i>		x		
24. <i>Desmidium</i>			x	x
25. <i>Dictyosphaerium</i>			x	x
26. <i>Euastrum</i>			x	x

Diatomeas

1. <i>Fragilaria</i>	X	X	X	X
2. <i>Pinnularia</i>	X	X	X	X
3. <i>Navícula</i>	X	X	X	X
4. <i>Diatoma</i>	X	X	X	X
5. <i>Melosira</i>	X	X	X	X
6. <i>Nitzchia</i>	X	X		
7. <i>Eunotia</i>	X			X
8. <i>Rhizolenia</i>	X			
9. <i>Asterionella</i>	X	X		
10. <i>Stauroneis</i>	X			
11. <i>Gomphonema</i>			X	

Cianophyta

1. <i>Oscillatoria</i>	X	X	X	X
2. <i>Anabaena</i>	X	X	X	X
3. <i>Merismopedia</i>	X	X	X	
4. <i>Spirulina</i>	X	X		
5. <i>Microcystis</i>	X	X	X	X
6. <i>Gomphosphaeria</i>	X			

Dinophyta

1. <i>Synura</i>	X	X		
2. <i>Peridinium</i>	X	X	X	X
3. <i>Dynobryon</i>	X	X	X	X

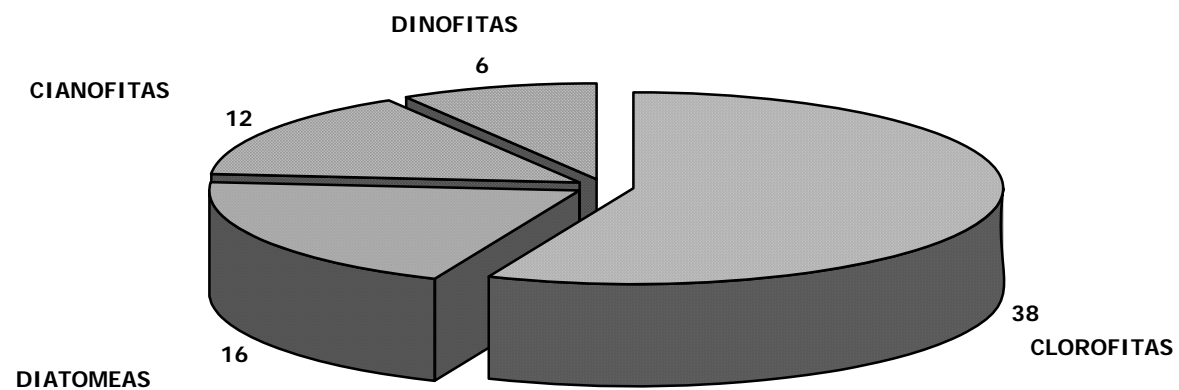
En la Tabla No. 6 se presentan los Géneros de Fitoplancton identificados en el Río Candelaria, en este punto de muestreo se encontró el mayor número de géneros de Clorofitas. Se presentaron durante los cuatro muestreos géneros indicadores como *Tetraedron*, *Microcystis*, *Anabaena* y *Oscillatoria*.

TABLA NO. 6 Géneros de Fitoplancton identificados en el Río Candelaria, durante los cuatro muestreos realizados en el PNLT.

GÉNERO	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4
Clorophyta				
1. <i>Tetraedron</i>	x	x	x	x
2. <i>Chlorella</i>	x			
3. <i>Phytoconis</i>	x			
4. <i>Eudorina</i>	x			
5. <i>Kirchneriella</i>	x			x
6. <i>Microcactinium</i>	x			
7. <i>Spirogyra</i>	x	x		
8. <i>Cladophora</i>	x	x		
9. <i>Staurastrum</i>	x	x	x	x
10. <i>Ankistrodesmus</i>	x		x	x
11. <i>Closterium</i>	x	x	x	x
12. <i>Tribonema</i>	x			
13. <i>Pediastrum</i>	x	x	x	x
14. <i>Ulothrix</i>		x		
15. <i>Scenedesmus</i>		x	x	x
16. <i>Desmidium</i>		x	x	
17. <i>Amphora</i>		x		
18. <i>Hydrodictyon</i>			x	x
19. <i>Mougeotia</i>		x	x	x
20. <i>Cosmarium</i>		x	x	x
21. <i>Micrasterias</i>		x	x	x
22. <i>Crucigenia</i>		x		x
23. <i>Euastrum</i>			x	x
24. <i>Genicularia</i>			x	
25. <i>Coelastrum</i>				x
26. <i>Dictyosphaerium</i>				x
27. <i>Zygnema</i>				x
28. <i>Treubaria</i>				x

Diatomeas				
1. <i>Fragilaria</i>	x	x	x	x
2. <i>Diatoma</i>	x	x	x	x
3. <i>Cyclotella</i>	x			
4. <i>Synedra</i>	x		x	
5. <i>Asterionella</i>	x	x		x
6. <i>Navícula</i>	x	x	x	x
7. <i>Nitzchia</i>	x	x		
8. <i>Pinnularia</i>	x			x
9. <i>Melosira</i>		x	x	x
10. <i>Gyrosygma</i>	x	x	x	x
11. <i>Gomphonema</i>			x	
12. <i>Epithemia</i>			x	x
Cianophyta				
1. <i>Oscillatoria</i>	x	x	x	x
2. <i>Microcystis</i>	x	x	x	x
3. <i>Lyngbya</i>	x			
4. <i>Anabaena</i>	x	x	x	x
5. <i>Spirulina</i>	x	x	x	x
6. <i>Merismopedia</i>		x	x	x
Dinophyta				
1. <i>Euglena</i>	x			
2. <i>Peridinium</i>	x	x	x	x
3. <i>Synura</i>	x			
4. <i>Dynobryon</i>				x
5. <i>Ceratium</i>				x

GRÁFICA No. 1
INDICE DE ABUNDANCIA SEGÚN NÚMERO DE GÉNEROS IDENTIFICADOS



La Gráfica No. 1 presenta el índice de abundancia para los géneros de Fitoplancton identificados en los puntos de muestreo del Parque Nacional Laguna del Tigre. En orden descendente son Clorofitas, Diatomeas, Cianofitas, Dinofitas.

TABLA NO. 7 Resultados de las mediciones de Visibilidad y Profundidad realizadas con el Disco Secchi en los puntos de muestreo del Parque Nacional Laguna del Trigre

LUGAR	MUESTREO 1		MUESTREO 2		MUESTREO 3		MUESTREO 4	
	VISIBILIDAD	PROFUNDIDAD	VISIBILIDAD	PROFUNDIDAD	VISIBILIDAD	PROFUNDIDAD	VISIBILIDAD	PROFUNDIDAD
La Pista	1.60 m	2.30 m	1.60m	1.90 m	1.0 m	1.20 m	Total	1.0 m
Guayacán	Total	3.0 m	Total	3.0 m	Total	2.30 m	Total	2.10 m
Flor de Luna	Total	0.70 m	Total	1.0 m	0.8 m	1.0 m	Total	1.30 m
Pozo Xan	1.0 m	1.90 m	1.40 m	2.10 m	1.0 m	1.80 m	1.40 m	2.0 m
Bella Vista	0.8 m	1.0 m	0.8 m	1.0 m	0.8 m	1.0 m	Total	1.10 m
Río Candelaria	Total	0.5 m	Total	0.9 m	Total	0.8 m	Total	0.8 m

B. COLIFORMES

En la Tabla No. 8 se presentan los resultados obtenidos del análisis de coliformes totales y fecales, para este análisis se seleccionaron 10 puntos de muestreo, se indica con un signo positivo la presencia y con un negativo la ausencia de los microorganismos.

La presencia de coliformes tuvo mayor variación durante la época seca, durante el primer muestreo el 50 por ciento de los puntos de muestreo resultaron negativos, tanto a los coliformes totales como fecales. Del otro 50 por ciento todos presentaron totales y únicamente 2 presentaron fecales.

Durante el segundo muestreo los resultados cambiaron ya que todos los puntos a excepción de uno (laguna Guayacán) presentaron coliformes totales, sin embargo, de éstos solamente el 60 por ciento presentaron coliformes fecales.

En los muestreos 3 y 4 hubo presencia de coliformes totales y fecales en todos los puntos de muestreo sin excepción alguna.

Resultados de Coliformes Totales y Fecales en el PNLT, utilizando el método ReadyCult de Merck. Se resaltan los puntos que estuvieron contaminados en ambas épocas durante los cuatro muestreos.

TABLA NO. 8 Análisis de Coliformes

LUGAR	MUESTREO 1		MUESTREO 2		MUESTREO 3		MUESTREO 4	
	Totales	Fecales	Totales	Fecales	Totales	Fecales	Totales	Fecales
1 La Pista	-	-	+	+	+	+	+	+
2 Río Candelaria	-	-	+	-	+	+	+	+
3 Guayacán	-	-	-	-	+	+	+	+
4 Flor de Luna	-	-	+	+	+	+	+	+
5 El Toro	-	-	+	-	+	+	+	+
6 Pozo Xan	+	-	+	+	+	+	+	+
7 Buena Vista	+	-	+	+	+	+	+	+
8 Las Puertas	+	+	+	+	+	+	+	+
9 Mancuernadora	+	+	+	+	+	+	+	+
10 Río Sacluc	+	-	+	-	+	+	+	+

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. FITOPLANCTON

El objetivo de esta investigación fue determinar géneros importantes de Fitoplancton a ser identificados como indicadores de la calidad del agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén, ya que actualmente este parque se halla impactado tanto por actividades petroleras llevadas a cabo en el área, como por la constante migración y establecimiento de poblados debido a la apertura de caminos y oportunidades de trabajo.

Al analizar los resultados obtenidos se pueden anotar observaciones importantes, en los seis puntos de muestreo trabajados, la mayor cantidad de géneros identificados fueron pertenecientes a las Clorofitas de las cuales algunas como *Staurastrum* y *Ankistrodesmus*, presentes durante todos los muestreos son indicadoras de buena calidad en el agua (26). Por otro lado *Tetraedron*, que apareció también en todos los muestreos suele presentarse en aguas que reciben gran cantidad de nutrientes provenientes de la mineralización de desechos orgánicos (33). Sin embargo, el hecho de que las clorofitas presenten la mayor cantidad de géneros no significa que fuesen las más abundantes, ya que se observó que en algunos casos las Cianofitas fueron más abundantes, aunque representadas por pocos géneros. Las Cianofitas son consideradas de las algas que se encuentran más frecuentemente en porciones de corrientes que contienen detritos orgánicos. Algunos ejemplos representativos que fueron identificados en este estudio son *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, entre otros (26,33). De estos géneros uno de los que presentó mayor abundancia fue *Microcystis*, este estuvo presente durante los cuatro muestreos, estos organismos son responsables de florecimientos en aguas eutroficadas y en grandes cantidades le confieren al agua una coloración verdeazul, forman limo y producen olor a pepino cuando están frescos y olor séptico cuando entran en descomposición. También algunas especies son consideradas tóxicas o potencialmente tóxicas, como *M. aeruginosa* y *M. flos-aquae*. En general son indicadores de polución orgánica (25,33). Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos en el estudio RAP realizado en el 2000, en el cual también se registró la presencia de este organismo en las lagunas Bella Vista, Flor de Luna y La Pista, tomando en cuenta el potencial tóxico de

Microcystis, se debe resaltar que el agua de estas lagunas es utilizada para el abastecimiento de las poblaciones asentadas alrededor, así como por las personas en los puestos de CONAP (1).

La presencia de una mayor cantidad de cianofitas puede significar que las lagunas están sometidas a un proceso de eutrofización, lo cual puede tener un gran efecto sobre la estructura comunitaria del plancton, ya que son capaces de inhibir a otras algas que sirven de alimento al zooplancton, por ejemplo uno de los géneros identificados, *Lynngbya*, produjo un florecimiento en el lago de Izabal en 1969, durante el cual se observó una gran escasez de zooplancton(9).

Este proceso de eutrofización se ve acelerado en algunos de los casos, como las lagunas Bella Vista y pozo Xan por factores antropogénicos, ya que alrededor de la primera está ubicado un poblado, y la laguna es utilizada para los distintos quehaceres domésticos de los habitantes, por otro lado pozo Xan está ubicada cerca de depósitos de la petrolera, lo cual puede ser la causa de un incremento en el contenido de nutrientes, los cuales favorecen el crecimiento masivo del fitoplancton. La dominancia de algas verdeazules durante todo el año en aguas tropicales puede indicar condiciones eutróficas (9). Estas condiciones provocarán que a corto plazo se deteriore el agua y además hacen que estas no sean aptas para el consumo humano.

En cuanto a las Diatomeas, el género que apareció en todos los puntos durante los cuatro muestreos fue *Navicula* de la cual la mayoría de las especies están relacionadas con aguas oligotróficas. Luego de ésta las más comunes fueron *Fragilaria* y *Diatoma*, también relacionadas frecuentemente con aguas limpias(26, 33).

De las Dinofitas, las más frecuentes fueron *Peridinium*, presente en todos los puntos, tanto en la época seca, como la lluviosa, éste es un género típico en aguas oligotróficas ricas en calcio y minerales alcalinos y es el dinoflagelado más abundante en aguas dulces (33). El género de Dinofitas más abundante durante la época seca fue *Synura*, el cual suele dar olor y sabor desagradable al agua en altas concentraciones. *Dynobryon*, considerado el género que más deteriora la calidad del agua, ya que le confiere un fuerte olor y sabor a pescado o pepino, aunque esté en pequeñas cantidades, estuvo presente en todos los muestreos, aunque en algunos de los puntos únicamente durante la época seca o durante la época lluviosa, es importante destacar esto, ya que podría utilizarse como un indicador importante en el PNLT en futuros estudios. También

fue frecuente durante la época seca, *Euglena*, las especies de este género son características de aguas ricas en materia orgánica (33). En cuanto a la época lluviosa, ningún género en especial presentó mayor abundancia.

Es importante tomar en cuenta a los géneros abundantes y presentes durante ambas épocas característicos de aguas limpias, su desaparición en el futuro puede demostrar el deterioro de la calidad del agua, al ser sustituidos por géneros que son resistentes al enriquecimiento con materia orgánica.

Los valores de pH se mantuvieron dentro del rango establecido por la EPA, sin embargo, como se observa en los resultados el valor más alto fue de 9.47 en la laguna El Toro, obtenido durante el primer muestreo en época seca. Se puede observar también que la laguna El Toro y La Pista, presentaron los valores más altos de pH, esto se debe a una mayor concentración de iones bicarbonato presentes en los suelos cársticos de Petén (35).

La medida de la visibilidad realizada con el disco Secchi, también es indicadora del grado de eutrofización de los cuerpos de agua, sus valores dependen del aumento de sólidos y de la cantidad de fitoplancton. Los resultados concuerdan con esto, ya que por ejemplo, en la laguna Guayacán se mantuvo una visibilidad total durante los cuatro muestreos y fue la que presentó menor cantidad de géneros de fitoplancton.

Según los resultados obtenidos en el estudio "Calidad Físicoquímica del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén" , el fósforo resulta ser el nutriente limitante en este estudio, se sabe que este nutriente puede influir sobre la composición y dinámica poblacional del fitoplancton junto con el nitrógeno; si todo el fósforo es utilizado el crecimiento de las algas se detiene, sin importar la cantidad disponible de nitrógeno. Debido a que los cuerpos de agua del PNLT están sufriendo un proceso de eutrofización por el incremento de nutrientes proveniente de fuentes externas como la explotación petrolera y la colonización, es importante controlar los niveles de fósforo principalmente, ya que cuando las concentraciones aumentan permiten a las algas una mayor asimilación del nitrógeno, pudiendo esto llevar al surgimiento de florecimientos, como en el caso de las algas verdeazules (9,22,35,36).

B. COLIFORMES

Como se puede observar en los resultados, hubo variación entre el primer y segundo muestreo, ya que durante el primero solo la mitad de los puntos presentaron coliformes totales, sin embargo, el resto, pozo Xan, Buena Vista, Las Puertas, Arroyo la Mancuernadora y Río Sacluc presentaron desde el inicio coliformes totales, ya que están ubicados en puntos en donde se ven afectados por la presencia humana y de animales. De estos hubo dos puntos: arroyo La Mancuernadora y laguna Las Puertas que habían presentado coliformes totales y fecales en el primer muestreo, estos puntos están ubicados en áreas donde hay presencia de ganado y muchas personas lavan ropa y se bañan, esto hace que el agua sea cada vez menos apta para el consumo humano, ya que son aguas duras y con alto contenido bacteriológico.

En los muestreos 3 y 4, hubo presencia de coliformes totales y fecales en todos los puntos de muestreo, esto demuestra el deterioro de la calidad del agua durante la época lluviosa, debido al arrastre ocasionado por las lluvias.

Cabe mencionar, que los puntos en los que no hubo presencia de coliformes durante la época seca se encuentran en los sitios más distantes, por lo tanto no son muy frecuentados por personas.

Los resultados obtenidos en este estudio, concuerdan con los realizados anteriormente en el PNLT, aunque únicamente durante la época lluviosa, donde se analizó la presencia-ausencia de coliformes totales y fecales utilizando este mismo método (32). Sin embargo, la presencia de coliformes se ve incrementada grandemente en comparación con el estudio RAP realizado en el 2000, en el cual solo en el 37 por ciento de las muestras se detectaron coliformes totales, y en el 13 por ciento coliformes fecales (1). En este estudio durante la época lluviosa el 100 por ciento de las muestras presentaron coliformes totales y fecales, esto demuestra la rápida influencia de la colonización en el parque y el deterioro de la calidad del agua por esta causa.

Es importante mencionar que no importando de que origen proviene la presencia de coliformes fecales, ya sea humano o animal, según las normas internacionales estos organismos no son permitidos en el agua para consumo humano, y que en nuestro país los más altos índices de mortalidad son debidos a infecciones gastrointestinales, en la mayoría de los casos transmitidas a través del agua contaminada (34). Además, estando ya en el siglo XXI únicamente el 38 por ciento de la población de Petén tiene acceso al agua potable y el 67 por ciento sistema de drenajes y servicio sanitario, este no es el caso de las poblaciones en el PNLT, en el que algunas personas utilizan letrinas y otras drenan sus desechos directamente a los ríos y otros cuerpos de agua (37).

X. CONCLUSIONES

1. Las Clorofitas fueron las que presentaron mayor cantidad de géneros al identificar el fitoplancton.
2. De las Cianofitas, la presencia de *Microcystis* sp. puede representar un indicador del deterioro de la calidad del agua en todos los puntos de muestreo analizados.
3. En general todos los puntos de muestreo presentaron géneros indicadores de aguas eutróficas.
4. El género *Synura* podría ser utilizado como indicador en estudios futuros, ya que su presencia solo fue identificada durante la época seca en todos los puntos de muestreo.
5. El aumento constante de colonización en el área del PNLT está ocasionando un incremento acelerado en las condiciones de contaminación de los cuerpos de agua.
6. Las características microbiológicas y fisicoquímicas del agua del PNLT la hacen no apta para el consumo humano.
7. En todos los puntos de muestreo en ambas épocas se registró la presencia de coliformes totales y fecales, con excepción de la Laguna Guayacán en la cual no hubo presencia de coliformes totales y fecales durante la época seca.
8. Durante la época lluviosa se incrementó la presencia de coliformes fecales.
9. La toma de muestras de fitoplancton fue realizada a diferentes horas durante cada muestreo debido a las condiciones de acceso, por lo que los datos de temperatura no son significativos.
10. El rango de pH fue de 6.74 a 8.23, el cual se encuentra dentro de los rangos para aguas dulces según la EPA, y son valores que favorecen el crecimiento de distintos géneros de fitoplancton.
11. El fósforo fue el nutriente limitante del fitoplancton en este estudio y según las concentraciones encontradas las aguas fueron determinadas como eutróficas.

XI. RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo en los próximos estudios de fitoplancton en los cuerpos de agua del PNLT, analizando especialmente los géneros que fueron más comunes en esta investigación y los indicadores más significativos.
2. Realizar un análisis anual de fitoplancton, muestreando nuevamente durante la época seca y lluviosa, para comparar los cambios en la población.
3. Evaluar en forma cuantitativa la presencia de coliformes totales y fecales en el agua, para así poder proporcionar datos fidedignos en pro del resguardo de la salud de los pobladores.
4. Gestionar a través de las autoridades del PNLT, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y del Ministerio de Salud Pública la implementación de un programa de educación ambiental, enfocado al uso adecuado de los recursos hídricos para los habitantes de las distintas comunidades.
5. Proponer estudios de heces fecales en conjunto con el área de salud de la región para tener un registro estadístico de las infecciones gastrointestinales más comunes, y así poder implementar la vigilancia epidemiológica en el área.

XII. REFERENCIAS

1. Bestelmeyer, B. Introducción a la Expedición del RAP al Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén Guatemala. Boletín RAP de Evaluación Biológica. 2000; 16: 111-117.
2. Ovalle, M.M. 2000. Línea Base del Fitoplancton y Parámetros Físico-químicos en cuerpos de agua del Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén, Guatemala. Informe Final de Ejercicio Profesional Supervisado EPS.
3. Pierola, H.K. 2001. Análisis de los Resultados de la calidad de agua obtenidos en la época seca (verano) de 1999, 2000, 2001 y la época lluviosa (invierno) de 1999, 2000, en 16 puntos de interés localizados en el Parque Nacional Laguna del Tigre, San Andrés, Petén, Guatemala. Informe Final de EPS.
4. Ciencias Ambientales. 2000. Revista semestral de la Escuela de Ciencias Ambientales Universidad Nacional Costa Rica. No. 21.
5. www.epa.nsw.gov.au/envirom/waterqual.htm 2001. What is water quality? EPA Website. Environment matters.
6. Aranda, N. 2001. Alimentando al Mundo, envenenando al Planeta: Eutrofización y Calidad del Agua.
7. www.cyberwayswaterways.com 2001. Contaminación del Agua.
8. Lima, S. et al. 2000. Fitoplancton como indicador de contaminación en el Lago de Amatitlán durante la época lluviosa (mayo-julio). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
9. González, A. 1988. El Plancton de las Aguas Continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo científico y Tecnológico. Caracas, Venezuela.
10. www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/hipertexto Libro Electrónico Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. 12/04/2002
11. Eutrophication, Harmful Algal Blooms and Species Diversity in Phitoplankton Communities: Examples from the Baltic Sea. Agosto 2000. A Journal of the Human Environment. Vol. XXIX, number 4-5.

12. Figueroa R. et al. 1998. Macroinvertebrados Bentónicos como Indicadores de Calidad de Agua. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile. Universidad de Concepción Chile.
13. Gast, H. et al. 1992. Bioindicadores para el Control Ambiental, Contaminación Ambiental. Medellín. 23: 24-36.
14. <http://www.supercable.es/~aymasl/aplicaciones.htm> Análisis Biológico, Microorganismos y Bioindicadores. España.
15. <http://www.boquetrivier.org/index.html> 1999. Water Quality Monitoring. U.S.A.
16. <http://www.ciencias.uma.es> Villalobos, J.A. Albéndiz, L.G. Control Biológico de la Contaminación del Agua.
17. <http://www.mgar.net/index.html> García, M. Plancton. Islas Canarias.
18. <http://jmarcano.vr9.com/nociones/fresh2.html> Marcano, E. Ecología de las Aguas Dulces. Educación Ambiental, Elementos de Ecología, 2da. Parte.
19. Trilla, J. 1996. Plancton: El primer eslabón de la cadena. España.
20. Hutchinson, A. 1988. Treatise on Limnology. New York: John Wiley & Sons, INC. Vol. 2. 1115 p.
21. Wetzel, R. 1975. Limnology. New York. Saunders Company. 743 p.
22. James, A. et al. 1979. Biological Indicators of Water Quality. Great Britain. John Wiley and Sons. 9.1- 9.19 p.
23. http://www.ramsar.org/key_guide_risk_s.htm 1999. *La convención sobre los humedales*. Marco para evaluar el riesgo en Humedales. RAMSAR.
24. Luján, A. 2000. Las algas, indicadores de la calidad del agua. Córdoba. Fac. de Ciencias Exactas/ Depto. de Ciencias Naturales.
25. Peinador, M. 1999. Las Cianobacterias como indicadores de contaminación orgánica. Costa Rica. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
26. Hutchinson, A. 1988. A Treatise on Limnology. New York. John Wiley & Sons, Inc. Vols. 1,2.
27. Wetzel, R.G. Gene, E.L. 2000. Limnological Analysis. U.S.A. Third Edition. Springer. 147-151 p.
28. <http://bilbo.edu.uy/microbio/aplica.html> Algunas aplicaciones de Recuentos. Indicadores.

29. Goez, M., Pena, P. Determinación y Diferenciación de *Escherichia coli* y coliformes totales utilizando un mismo sustrato Cromogénico. España. Laboratorio Central Aquagest, Galicia.
30. Vargas, C. 2000. Curso sobre métodos bacteriológicos para el Análisis de Agua Potable. Perú. OPS/CEPIS.
31. Bastarrechea, M. 1992. Hidrología y Limnología de los Humedales del Biotopo Río Escondido-Laguna del Tigre, Petén, Guatemala. Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) y Fundación Mario Dary.
32. Castañeda, F. et al. 2000. Estudio Piloto para el Monitoreo de la Calidad de Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre. Conservación Internacional (CI), Proyecto Petenero para un Bosque Sostenible (PROPETEN).
33. Ramírez, J.J. 2000. Fitoplancton de Agua Dulce, Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia. Primera edición. 207 p.
34. Informe de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. 2002.
35. Oliva, B. et al. 2003. Calidad Físicoquímica del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT. 125 p.
36. http://tellus.ssec.wisc.edu/outreach/teach/ideas/kotoski/Minifact_Sheets/Minifact2_Phosphorus.pdf Kotoski, J. Information on Phosphorus Amounts & Water Quality. 1997. Spring Harbor Environmental Magnet Middle School.
37. <http://www.segeplan.gob.gt/spanish/guatemala/span17.html> Principales Indicadores del Departamento de Petén. Actualizado 2002.

XIII. ANEXOS

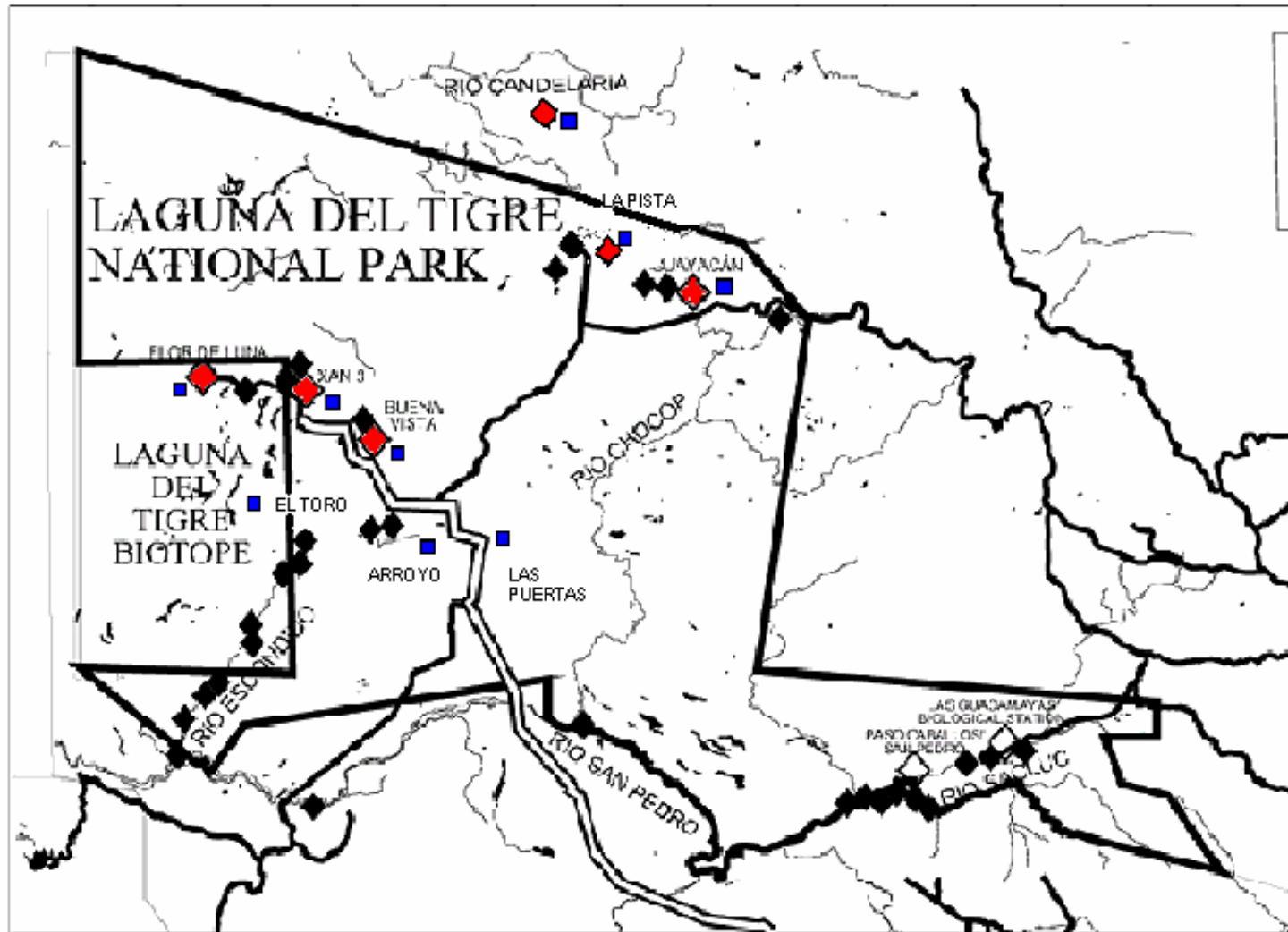
Anexo 1

Ubicación del Parque Nacional Laguna del Tigre



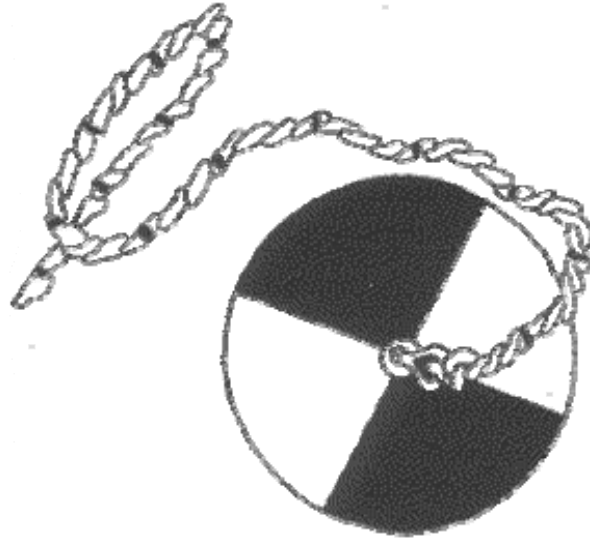
Tomado del Boletín RAP de Evaluación Biológica. Evaluación Biológica de los Sistemas Acuáticos del Parque Nacional Laguna del Tigre. Petén, Guatemala.

Anexo 2



Anexo 3

Disco Secchi utilizado para la medición de la transparencia en el agua



secchi disk for measuring water transparency

Muestreo de Fitoplancton utilizando una red de 20 μm de porosidad y una cubeta aforada de 30 litros.

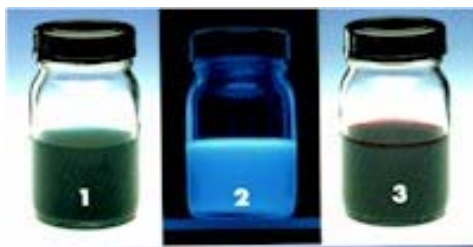


Anexo 4

READYCULT



- Cambio a azul-verde: Coliformes totales
- No hay cambio de color: no hay coliformes



1. Cambio a azul verde
2. Fluorescencia positiva → Presencia de *E. coli*
3. Indol positivo

Anexo 5

Tabla No. 1 Resultados de las mediciones de pH llevadas a cabo en los diez puntos de muestreo en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén. *

No.	Sitio	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
1	Laguna La Pista	7.92	7.73	8.23	8.11
2	Río Candelaria	7.02	7.35	7.31	7.71
3	Laguna Guayacán	7.25	7.47	7.58	7.94
4	Laguna Flor de Luna	7.41	7.58	7.06	7.22
5	Laguna El Toro	9.47	7.38	6.75	8.59
6	Laguna Pozo Xan	7.11	7.74	6.74	8.02
7	Laguna Bella Vista	7.54	7.36	7.03	7.77
8	Laguna Las Puertas	7.3	7.21	7.44	7.83
9	Arroyo la Mancuernadora	7.39	7.47	7.38	7.72
10	Río Sacluc	Nm	6.97	7.0	7.61

Nm = no muestreado

* Tomado del estudio Calidad Físicoquímica del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén.

Anexo 6

Tabla No. 2 Razones de Concentración N-NO₃:P-PO₄ durante los cuatro muestreos realizados en distintos puntos en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén.*

No.	SITIO	MUESTREO 1			MUESTREO 2			MUESTREO 3			MUESTREO 4		
		N-NO ₃	P-PO ₄	N:P	N-NO ₃	P-PO ₄	N:P	N-NO ₃	P-PO ₄	N:P	N-NO ₃	P-PO ₄	N:P
1	Laguna La Pista	1.9	0.02	95	1	bld	>100	1.9	1.35	1.41	1.4	0.01	140.0
2	Río Candelaria	1.8	0.06	30	1	0.02	50.0	0.7	0.02	35	0.8	0.03	26.7
3	Laguna Guayacán	1.6	0.09	17.8	1	0.01	100.0	1	0.05	20	1.2	bld	>120
4	Laguna Flor de Luna	1.7	0.02	85	0.9	0.04	22.5	2.9	0.07	41.4	1.5	0.03	50.0
5	Laguna El Toro	1.3	0.1	13	0.7	0.02	35.0	1.7	0.02	85	1.1	0.01	110.0
6	Laguna Pozo Xan	1.7	0.04	42.5	1.1	0.01	110.0	1.2	0.06	20.0	1.2	0.03	40.0
7	Laguna Bella Vista	1.8	0.01	180.0	3.3	0.01	330.0	4.6	0.3	15.3	2	bld	>200
8	Laguna Las Puertas	7.3	0.13	56.2	1	0.04	25.0	1.7	0.01	170.0	1.8	bld	>180
9	Arroyo La Mancuernadora	1.3	0.07	18.6	0.9	0.07	12.9	1	0.1	10	2.5	0.004	625.0
10	Río Sacluc	Nm	Nm	Nm	1.8	0.03	60.0	2.3	0.02	115.0	1.3	0.01	130.0

Nm= no muestreado

bld= bajo el límite de detección

* Tomado del estudio Calidad Físicoquímica del Agua en el Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén.

