

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



**“EVALUACIÓN DEL FITOPLANCTON COMO POTENCIAL BIOINDICADOR
DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE IZABAL, GUATEMALA”**

SONIA MARCELA LEMUS ALFARO

Bióloga

Guatemala, Julio de 2011

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



“EVALUACIÓN DEL FITOPLANCTON COMO POTENCIAL BIOINDICADOR
DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE IZABAL, GUATEMALA”

Informe de Tesis

Presentado por

SONIA MARCELA LEMUS ALFARO

Para optar al título de
Bióloga

Guatemala, Julio de 2011

Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

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

ACTO QUE DEDICO

- A mis Padres: Marcelino Lemus
Sonia Alfaro
Porque todo lo que soy, todo lo que tengo y lo que aspiro a ser es por ellos.
- A mi Hermano: Estuardo Lemus
Quién con su inteligencia me inspira a ser mejor cada día.
- A mis Sobrinos: Mariana y Pablo Lemus
Mi inspiración para ser mejor persona y un ejemplo para ellos.
- A mis abuelos: Berta, Flavio, María y Marcelino
Por su cariño, sus consejos y su apoyo.
- A mi tíos y tías: Por todo su apoyo a lo largo de mi vida.
- A mis primos: Por compartir tristezas y alegrías conmigo.
- A mi familia: Por estar allí para mí, siempre.
- A mis amigos: Ivonne, Jessica, Tere, Harim, Cristina, Pilar, Ana Luisa, Liza, Carlitos, Vivian, Deby, Mildred y Elisa.
Por compartir conmigo su vida y dejarme ser parte de la suya.
- A: Doris Ajín
Porque más que una amiga ha sido parte de mi vida y mi familia por más de 25 años.
- A Dios Por todo lo que me ha dado, aunque yo no lo merezca.
- A María Auxiliadora Por ser mi madre, mi consuelo, mi amiga, mi ejemplo de mujer.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, pues sin ellos nada de esto sería una realidad.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, centro de enseñanza que me permitió formarme.

A la Escuela de Biología por enseñarme a amar la vida y a apreciar la Biodiversidad.

A mi asesor, Lic. Claudio Méndez por sus consejos, su apoyo y su amistad durante todo este proceso.

A la Licda. Bessie Oliva por su incondicional apoyo.

A la Autoridad del Lago de Izabal –AMASURLI-, en especial a la Licda. Maritza Aguirre y a los técnicos, por todo su apoyo.

Al Lic. Jorge Jiménez por su valiosa colaboración en los análisis estadísticos.

Al Ing. Agr. Mario Véliz por su amistad, sus consejos, su apoyo, su confianza y su cariño durante todos estos años.

A Cordillera S.A., en especial al Dr. Rudy Machorro, por su confianza y su apoyo en todo este proceso.

A la Licda. Teresa Calderón por introducirme al fascinante mundo del agua.

A la Licda. Jessica López por su apoyo, por su ayuda en todo momento y por no dejarme rendirme. Gracias mi Jessi.

A Dios porque su amor y sabiduría me pusieron en este sitio maravilloso y lleno de tanta diversidad biológica, la bella Guatemala.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. ANTECEDENTES	5
3.1. ESTUDIOS ANTERIORES	5
3.2. MARCO TEÓRICO	6
3.2.1. Contaminación de cuerpos de agua	6
3.2.2. Parámetros fisicoquímicos del agua	7
2.2.2.1. Potencial de Hidrógeno	7
2.2.2.2. Temperatura	8
2.2.2.3. Conductividad	8
2.2.2.4. Oxígeno disuelto	8
2.2.2.5. Transparencia	9
2.2.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	9
2.2.2.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	10
2.2.2.8. Sólidos Suspendidos (SS)	10
2.2.2.9. Sólidos Disueltos (SD)	10
2.2.2.10. Sólidos Totales (ST)	10
2.2.3. Nutrientes	11
2.2.3.1. Fósforo	11
2.2.3.2. Fósforo de Ortofosfatos	11
2.2.3.3. Nitrógeno	12
2.2.4. Límites permisibles para aguas naturales	13
2.2.5. Criterios biológicos para evaluar la calidad del agua	14
2.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS	15
2.3.1. Plancton	15
2.3.2. Fitoplancton	15
2.4. MARCO REFERENCIAL	16
2.4.1. Área de Estudio	16
2.4.2. Generalidades del área	17
2.4.3. Ecosistemas de la zona e importancia del Lago de Izabal	17
2.4.4. Problemática ambiental de la zona de estudio	18
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo General	22
4.2. Objetivo Específicos	22
5. HIPÓTESIS	23
6. MATERIALES Y MÉTODOS	24
6.1. POBLACIÓN Y MUESTRAS	24
6.2. MATERIALES Y EQUIPO	24

6.3. METODOLOGÍA	25
6.3.1. Selección de puntos de muestreo	25
6.3.2. Puntos de muestreo	25
6.3.3. Toma de muestras	26
6.3.3.1. Toma de muestras de agua	26
6.3.3.2. Toma de muestras de plancton	26
6.3.4. Análisis de muestras	26
7. RESULTADOS	28
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
9. CONCLUSIONES	41
10. RECOMENDACIONES	42
11. BIBLIOGRAFÍA	43
12. ANEXOS	46
12.1. Mapa de sitios de muestreo	
12.2. Mapa de cobertura boscosa	
12.3. Resultados géneros de Fitoplancton	
12.4. Análisis de correspondencia	
12.5. Correlación de Spearman	
12.6. Fotografías de Fitoplancton	

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO No. 1	Límites permisibles para aguas naturales	13
CUADRO No. 2	Clasificación de lagos de acuerdo a su contenido de nutrientes	14

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1	Características fisicoquímicas de los sitios de muestreo	28
Tabla No. 2	Concentraciones de nutrientes de los sitios de muestreo	29
Tabla No. 3	Correlación de Spearman	37
Tabla No. 4	Resultados de géneros de fitoplancton, muestreo No. 1	
Tabla No. 5	Resultados de géneros de fitoplancton, muestreo No. 2	
Tabla No. 6	Resultados de géneros de fitoplancton, muestreo No. 3	
Tabla No. 7	Resultados de géneros de fitoplancton, muestreo No. 4	
Tabla No. 8	Resultados análisis de correspondencia	

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1- 4	Resultados de individuos por sitio de muestreo	31
Gráfica No. 5	Análisis de agrupamiento jerárquico	34
Gráfica No. 6	Análisis de correspondencia 1	35
Gráfica No. 7	Análisis de correspondencia 2	36

1. RESUMEN

El Lago de Izabal representa una importante porción de agua para toda Guatemala, por lo que es prioritario administrarlo de tal manera que permita sostener la biodiversidad y la calidad del mismo. La gran demanda que existe sobre el lugar, tanto económica como turística, produce una contaminación acelerada y un deterioro inmediato de sus recursos naturales, principalmente en el cuerpo de agua, que se ve afectado por desechos sólidos y líquidos.

El propósito del estudio fue la evaluación del potencial del fitoplancton como indicador biológico, basándose en la presencia de ciertos géneros que indican contaminación. Para indicar la calidad del agua se determinó la biomasa, abundancia y composición del Fitoplancton, mostrando los resultados que la división más diversa fue Chlorophyta, mientras la más abundante fue Cyanophyta, las cuales son indicadoras de cuerpos de agua dulce contaminados por actividades humanas.

Se realizaron cuatro muestreos de agua durante los meses de junio, agosto, octubre y diciembre de 2009, analizándose los niveles de nutrientes y los géneros de fitoplancton importantes para definir la calidad del agua del lago de Izabal.

Seis sitios de muestreo fueron establecidos considerando los patrones que mostraban los datos tomados por la Escuela de Química de la Universidad de San Carlos, la Autoridad del Lago de Izabal y la Reserva de Vida Silvestre Bocas del Polochic, así como las principales fuentes de contaminación esperadas en la región y las zonas de interés especial para la conservación.

Los análisis químicos consistieron en la determinación de los niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo), los cuales pueden verse afectados por las actividades domésticas del ser humano y la presencia de algunos contaminantes como pesticidas.

A los datos de fitoplancton se les aplicó un análisis exploratorio con técnicas de ordenación (CCA) y clasificación para determinar la relación que existe entre los sitios de muestreo,

los parámetros fisicoquímicos y el fitoplancton. Estos análisis indicaron que no existen diferencias en la composición de fitoplancton en cada sitio de muestreo. El análisis jerárquico y el análisis de correspondencia canónica mostraron que los sitios que comparten características son Río Sauce y Salida CGN debido posiblemente a que comparten la presencia de ciertos géneros de fitoplancton (*Microcystis* sp., *Pediastrum* sp., *Lyngbya* sp.), indicadores de contaminación por actividades humanas.

Se realizó una correlación de Spearman, buscando aquellos géneros sensibles a cambios en el agua y que presenten alta correlación con los parámetros fisicoquímicos, pero no hay relación entre las características fisicoquímicas y la distribución del fitoplancton.

Aunque no se observaron fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos, los datos de fitoplancton muestran patrones que si indican cambios en los nutrientes, que aunque no fueron detectados por los métodos de laboratorio utilizados, provocaron la proliferación de ciertos géneros indicadores de contaminación por actividades humanas.

2. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua del Lago de Izabal está afectada principalmente por las descargas residuales de las viviendas, la erosión, el uso de agroquímicos, las descargas de aguas servidas municipales, de hoteles, de embarcaciones, y contaminación por productos derivados del petróleo. (Quan, 2004). Estas actividades pueden producir un aumento de nutrientes en el agua, lo cual afecta la biología y ecología de las comunidades de organismos presentes en el cuerpo de agua. (Sponseller et al, 2001).

Como consecuencia de este aumento en la carga de nutrientes en los sistemas dulceacuícolas, la biomasa y la productividad fitoplanctónica también suelen aumentar (Wetzel, 1995).

Debido a esto se hace necesaria la implementación de métodos que midan el impacto de estas actividades en la calidad del agua del Lago y su diversidad biológica.

Este estudio espera generar información que sirva para evaluar el potencial del fitoplancton como bioindicador, y poder medir así, impactos que afecten la calidad del agua del Lago, lo cual es de suma importancia para priorizar las estrategias de manejo del área.

En cada punto de muestreo se tomaron muestras de 2 litros de agua por punto de muestreo, en botes previamente lavados con jabón libre de fosfatos. Además se tomaron los parámetros *in situ* del agua: pH, temperatura, % de oxígeno, oxígeno disuelto, salinidad y conductividad.

En el laboratorio se realizó análisis de los niveles de los nutrientes (Nitrógeno Total, Amonio, Nitritos, Nitrato, Fósforo Total, Ortofosfatos) y el fitoplancton, a través de examinar las muestras de agua tomadas. Los análisis de laboratorio para los nutrientes fueron realizados por la Autoridad del Lago de Izabal (AMASURLI).

Para la colecta de muestras de fitoplancton se tomaron 100 L de agua en cada punto de muestreo y fueron filtrados mediante una red con un mesh de 80 micrómetros, el volumen se redujo a 100 ml. para identificar los géneros de fitoplancton presentes en cada muestra, lo cual se realizó con la ayuda de un microscopio.

Los datos obtenidos fueron examinados a través de un Análisis de Correspondencia canónica y un análisis jerárquico, que agruparon los sitios de muestreo según la presencia de ciertos géneros de fitoplancton. Se realizó una correlación de Spearman, para determinar aquellos géneros sensibles a cambios en el agua, que presenten alta correlación con los parámetros fisicoquímicos. La evaluación del potencial del fitoplancton como indicador biológico se basó en la presencia de géneros sensibles a cambios en el agua, indicadores de contaminación por actividades humanas.

La información presente en este estudio se generó durante el año 2009, en conjunto con la Autoridad para el Manejo sustentable del Lago de Izabal y Río Dulce –AMASURLI- y la Escuela de Química, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La metodología, los resultados y conclusiones de este estudio se presentan a continuación.

3. ANTECEDENTES

3.1 ESTUDIOS ANTERIORES

Los monitoreos de agua utilizando indicadores biológicos son muy utilizados actualmente. La literatura revela que los organismos acuáticos, macroinvertebrados y microalgas son los dos grupos que funcionan como parámetros indicadores, aunque existen algunos estudios de plantas acuáticas y peces utilizados como bioindicadores (Roldán 1992).

En varias universidades de América del Sur se realizan monitoreos de fitoplancton para determinar los cambios en la composición del agua y los cambios de la biodiversidad en los cuerpos de agua. Los siguientes son algunos de esos estudios, los cuales han sido tomados como referencia.

Fontúrbel (2006) realizó evaluaciones del agua a lo largo del Lago Titicaca, utilizando fitoplancton como bioindicador de procesos eutróficos relacionados a las actividades humanas realizadas en el Lago (ganadería, agricultura, turismo).

Santander, *et. al* (1997) de la Universidad Arturo Prat de Chile realizaron un estudio sobre la fluctuación diaria del Fitoplancton en el océano de Chile. En este estudio se determinó que las fluctuaciones fisicoquímicas del agua influyen en la composición y biomasa del fitoplancton, lo que a su vez conduce a cambios en la diversidad biológica del océano.

Por su parte González *et. al* (2004) de la Universidad de Venezuela, realizaron una investigación sobre los cambios en la abundancia, biomasa y producción primaria del fitoplancton en dos localidades del embalse Pao-Cachinche (Venezuela), el cual recibe tributarios con altas concentraciones de nutrientes, provenientes de aguas domésticas sin tratamiento previo y de granjas avícolas y porcinas que lo rodean.

Pocos estudios han sido realizados en el Lago de Izabal y la mayor parte de la información no está centralizada o no está disponible. Ninguno de los estudios realizados ha utilizado

fitoplancton como bioindicador, es más ninguno ha utilizado indicadores biológicos para determinar la calidad de este cuerpo de agua. Los estudios más recientes han sido:

Un estudio de calidad de agua e *Hydrilla verticillata* en Río Dulce y el Lago de Izabal realizado por Arrivillaga (2002).

Desde el año 2001 al 2005, la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos, ha realizado un monitoreo a lo largo del Lago de Izabal y el Río Dulce, midiendo parámetros fisicoquímicos y biológicos (E. coli, coliformes totales y fecales, fitoplancton). Estudio en el cual se determinaron los géneros de fitoplancton presentes en el área.

El Parque Nacional Río Dulce y el Biotopo Chocón Machacas, con fondos del Proyecto JADE, del año 2005 al 2008 realizó un monitoreo de agua midiendo parámetros fisicoquímicos y biológicos.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1 CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

Los nutrientes se ven alterados debido a las descargas domésticas, al uso de fertilizantes, a la ganadería y otras actividades humanas. Al incrementarse la concentración de estos, se ven acelerados los procesos de eutrofización en los cuerpos de agua lénticos por el crecimiento elevado en las poblaciones de plancton, lo cual también genera la reducción de los niveles de oxígeno y transparencia del agua, y limita las condiciones propicias para la vida acuática.

En cuanto a la pérdida de cobertura vegetal, ésta acelera los procesos de erosión, provocando una mayor descarga de sólidos en los cuerpos de agua, acelerando el proceso de asolvamiento y disminuyendo los procesos fotosintéticos.

Las actividades industriales y la mala disposición de desechos sólidos y líquidos provocan contaminación en los cuerpos de agua, principalmente por la adición al agua de metales pesados que presentan alta toxicidad aún en concentraciones traza, metales como plomo, cadmio, mercurio y arsénico, ingresan con facilidad a la cadena trófica al ser adheridos a los organismos y luego ser absorbidos por peces para llegar directamente al humano.

3.2.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

La investigación de la calidad del agua está orientada a la determinación del impacto que las actividades humanas tienen sobre las propiedades de la misma. Es por eso que los parámetros que se evalúan son aquellos que indican el estado actual y las tendencias futuras que caben esperarse del cuerpo de agua. Los parámetros fisicoquímicos nos indican medidas para el conocimiento del hábitat y dependiendo de los valores encontrados se sabe si es propicio para el desarrollo de los diferentes organismos (Margalef, 1983; Roldán, 1992).

Los parámetros más evaluados son los siguientes: Potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T°), Conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), Transparencia, Demanda Bioquímica Orgánica (DBO), Demanda Química Orgánica (DQO), Sólidos en Suspensión, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales (Margalef, 1983; Roldán, 1992).

3.2.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El Potencial de Hidrógeno está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido e influye sobre los procesos biológicos y químicos del sistema acuático. El agua está compuesta de iones de hidrógeno (H^{+}) y de hidróxido (OH^{-}). El pH o potencial de hidrógeno, indica la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El pH regula muchos de los procesos químicos y fisiológicos del sistema. La escala del pH oscila entre 0 y 14, el valor de “7” representa una solución neutra, un valor menor de 7 indica una solución ácida, y un valor mayor de 7 una solución básica. Valores extremos de pH pueden causar la muerte rápida de peces, alteraciones en la flora y la fauna, y desencadenar reacciones

secundarias peligrosas. El pH debe mantenerse dentro de un rango normal para la vida acuática entre 6.5 - 8.0 unidades (EPA, 1986; Wetzel, 1995).

3.2.2.2 Temperatura

La Temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de agua. Afecta a parámetros o características tales como: solubilidad de gases, desplazamientos de equilibrios químicos y desarrollo de organismos presentes en el agua (Barrenetxea et al., 2003). La Temperatura representa una condición importante para la distribución de diferentes especies. La EPA ha establecido como normativa que los valores de temperatura para aguas naturales deben encontrarse en un rango entre 15° C - 32° C (EPA, 1986; Roldán, 1992).

3.2.2.3 Conductividad

La Conductividad y la dureza que reflejan el contenido de sales minerales que pueden estar asociadas con las características geoquímicas de la cuenca. La conductividad de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia y concentración total de iones en el agua. Una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH. La unidad empleada es el Siemen (S) (Wetzel, 1995). Los valores normales de conductividad es por debajo de los 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resultados por debajo de estos valores indican oligotrofia o baja productividad y valores por encima indican eutrofia o alta productividad (Roldán, 1992).

3.2.2.4 Oxígeno disuelto

El Oxígeno Disuelto es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos. El oxígeno disuelto es considerado el factor ambiental más importante para la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos. El oxígeno utilizado por organismos acuáticos es un gas y no es parte del oxígeno de la

molécula del agua (H₂O); la temperatura, velocidad del agua y el viento juegan papeles importantes en la cantidad de oxígeno que entra en el sistema acuático desde la atmósfera, el oxígeno se disuelve mejor en el agua fría que en el agua cálida. (Margalef, 1983).

La EPA ha señalado que la cantidad que rige como normativa para el oxígeno disuelto depende de las especies que se desarrollen en el cuerpo de agua, pero en términos generales ha establecido un rango de 3.0 a 5.0 mg/L (EPA, 1986).

3.2.2.5 Transparencia

La Transparencia es una de las propiedades ópticas del agua que influye en la penetración de la luz. Si existen muchos materiales en suspensión, la penetración de la luz será menor; esto puede constituir un factor limitante para el desarrollo de los organismos vivos. La transparencia se mide en metros (mts), profundidad a la que deja de verse el Disco Secchi (EPA, 1986). Se considera que un lago es eutrófico cuando la transparencia se encuentra por los 0.5 mts de profundidad y oligotrófico cuando es de 20 a 25 mts (Roldán, 1992).

3.2.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Parámetro que expresa la concentración de materia orgánica biodegradable. Se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua, es el parámetro de mayor uso, ya que constituye un índice general cualitativo del contenido de materia orgánica presente en la muestras. El DBO es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química y biológica de las sustancias existentes en el agua en condiciones normales, se expresa en miligramos por litro (mg/L).

Valores elevados de DBO indican una alta concentración de materia biodegradable (EPA, 1986). La DBO₅ mide el peso de oxígeno disuelto utilizado por microorganismos para oxidar o transformar los compuestos presentes en el agua durante un período de 5 días a 20° C de temperatura. La EPA no ha establecido norma alguna para la concentración de este parámetro (EPA, 1986).

3.2.2.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de oxidación química contenida en el agua, se expresa en miligramos por litro (mg/L). La relación entre la DBO y la DQO nos dan una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos existentes en el agua. Si los valores de DQO son elevados indican la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica biodegradable. La EPA no ha establecido norma alguna para la concentración de este parámetro (EPA, 1986).

3.2.2.8 Sólidos en Suspensión

Son sólidos inorgánicos y orgánicos. Pueden ser arenas, grasa, aceite, alquitrán y trozos de restos de animales y vegetales que se sedimentan tarde o temprano. Pueden ser biodegradables lenta o rápidamente. Determinan la turbidez, reducen la penetración de la luz y afectan a la actividad fotosintética de las plantas. Conducen al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas (APHA, 1995; EPA, 1986).

3.2.2.9 Sólidos Disueltos

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos no filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas (APHA, 1995; EPA, 1986).

3.2.2.10 Sólidos totales

Índice de toda la materia sólida presente en una muestra de agua (APHA, 1995; EPA, 1986; Manahan, 2000). En este indicador de la calidad del agua, se encuentran integrados todos los tipos de sólidos anteriormente descritos.

3.2.3 Nutrientes

El Fósforo y el Nitrógeno son los principales elementos que constituyen los nutrientes y que en un momento determinado pueden ser factores limitantes en la productividad primaria.

3.2.3.1 Fósforo

El fósforo es encontrado en las quebradas y los ríos en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. El Fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y para las reacciones metabólicas en plantas y animales. El fosfato libre es rápidamente utilizado por las algas y plantas acuáticas o se une con las partículas del suelo, aluminio etc., y no puede ser utilizado excepto por plantas arraigadas al sedimento, por consiguiente el fosfato es a menudo catalogado como un factor limitante para el crecimiento de organismos del sistema acuático.

El Fósforo total es la suma del Fósforo contenido en todas las especies presentes en la muestras. Normalmente se encuentra en cantidades limitadas y por ser un factor limitante para el crecimiento, es un elemento clave en la mayoría de procesos de eutrofización. (Pérez J, Oliva B. 2003)

3.2.3.2 Fósforo de ortofosfatos

La diferencia entre el Fósforo total y el Fósforo de ortofosfatos constituye la reserva de Fósforo que puede ser convertido a su forma más asequible para la cadena trófica. El *Fósforo de Ortofosfato* y *Fósforo Total* son los componentes principales de los fertilizantes. Los ortofosfatos son fosfatos inorgánicos solubles en agua y son arrastrados a las aguas superficiales por el agua de escorrentía. El fósforo es un nutriente esencial para la vida en los cuerpos de agua. El ortofosfato se considera como uno de los principales nutrientes en

el agua, por lo que cuando se encuentra en grandes cantidades es uno de los principales causantes de la eutrofización. (Pérez J, Oliva B. 2003)

3.2.3.3 Nitrógeno

El Nitrógeno puede estar presente en los ambientes acuáticos en varias formas como las siguientes: Amonio NH_4^+ , Nitritos NO_2^- , Nitratos NO_3^- , Nitrógeno Total, Amoniaco NH_3 y Oxido Nitroso N_2O . (Roldán, 1992).

A pesar que el N es muy abundante en la naturaleza (aproximadamente entre 78% y 80% del aire es N) muy pocos organismos pueden usarlo o fijarlo en esta forma libre (excepto por algunas bacterias verdiazules o Cyanophyta). El resto de los organismos obtienen N a través de compuestos como amonio, nitritos y nitratos; estos compuestos pueden ser creados por reacciones eléctricas (como rayos), emitidos por fijadores de N o por materia orgánica en descomposición, los nitritos son escasos en la naturaleza, mientras que los nitratos son abundantes. El nitrógeno en la forma de amonio se encuentra en el excremento de los animales y en otros desechos, se transforma en nitrato a través de la descomposición orgánica. Las plantas y algas pueden incorporar el nitrato dentro de su citoplasma y usar el nitrógeno para producir proteínas.

Las concentraciones de nitratos en las aguas naturales son normalmente de unos pocos mg/L, observándose incrementos en algunos lugares debido a las prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. En cuanto al nitrógeno de nitritos, la OMS propone un valor de 3 mg/L. (Pérez J, Oliva B. 2003)

El *Amonio* proviene de materia orgánica en descomposición y de contaminación humana fecal, además la distribución y los niveles de NH_4 son altamente variables, dependen de la estacionalidad, productividad, pH y de la cantidad de materia orgánica en descomposición.

Los *Nitritos* y *Nitratos* provienen de contaminación fecal y arrastre de nitrógeno debido a prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. El *Nitrógeno Total* es la suma de todas

las formas en que el nitrógeno puede estar en el medio, por lo que su concentración dependerá de la cantidad total de nitratos, nitritos y amonio presentes en la muestra.

Al alterar la concentración de éstos, se ven acelerados los procesos de eutrofización en las aguas naturales, incrementando el crecimiento de algas (Roldán, 1992).

El Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil ha establecido como normativo para Amonio, Nitritos, Nitratos y Fósforo Total, los siguientes valores 1.0 mg/L, 10 mg/L, 1.0 mg/L y 0.020 mg/L, respectivamente (CONAMA, 2006), para Nitrógeno Total y Ortofosfatos no existe un valor establecido.

3.2.4 Límites Permisibles de Calidad de Agua para Aguas Naturales

La investigación de la calidad del agua está orientada a la determinación del impacto que las actividades humanas tienen sobre las propiedades de la misma. Los parámetros que se evalúan son aquellos que indican el estado actual y las tendencias futuras que caben esperarse del cuerpo de agua. Valores por encima de estos se pueden clasificar a un lago como eutrófico.

Cuadro 1. *Límites Permisibles de Calidad de Agua para Aguas Naturales.*

PARÁMETROS	LÍMITE PERMISIBLE
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5 – 9.0
Temperatura (T°)	15 – 32 °C
Conductividad	< 1500 µS/cm
Oxígeno Disuelto	3 -5 mg/L
Transparencia	20 – 25 mts.
Demanda Bioquímica Orgánica (DBO)	3 mg/L
Sólidos Suspendidos (SS)	80 mg/L
Sólidos disueltos (SD)	500 mg/L
Sólidos Totales (ST)	300-400 mg/L

Fuente de datos: (APHA, 2000; CONAMA, 2006; EPA, 1986; Roldán, 1992)

Cuadro 2. Clasificación de los lagos de acuerdo a su contenido de nutrientes

	Oligotrófico mg/L	Eutrófico mg/L
Amonio	0.0 - 0.3	2.0 - 15.0
Nitritos	0.0 - 0.5	5.0 - 15.0
Nitratos	0.0 - 1.0	5.0 - 50.0
Ortofosfatos	0.001 - 0.002	0.003 -
Fósforo Total	0.005 - 0.010	0.030 - 0.100

Fuente de Datos: (APHA, 2000; CONAMA, 2006; EPA, 1986; Roldán, 1992)

3.2.5 Criterios Biológicos para evaluar la calidad del Agua

De manera simple, la contaminación del agua se puede definir como la adición de sustancias extrañas que deterioran su calidad (Saravia, P.). Un contaminante puede ser de origen “inerte” como plomo, mercurio, detergentes; o de origen “vivo” como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos (aguas negras principalmente).

La calidad del agua se refiere a su aptitud para usos benéficos, como consumo humano y de los animales, agroindustria, para el riego de cultivos y para recreación.

Desde el punto de vista biológico-ecológico, la calidad del agua tiene una connotación un poco diferente a la requerida para usos domésticos, agrícolas e industriales. (Ramírez, A. & Viña, G., 1998).

Los factores utilizados para evaluar la calidad del agua son los factores físicos, químicos y biológicos. Para ello, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real o grado de alteración de los sistemas acuáticos, unos se basan exclusivamente en análisis de las condiciones químicas, que si bien son de una gran precisión, son testigos de las condiciones instantáneas de las aguas y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento.

Como una alternativa a estos procedimientos desde hace varios años, se han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitoreo basado en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos. Los llamados índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que esta sucediendo en las aguas. (Ramírez, A. & Viña, G. 1998).

3.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS

La parte biótica del ecosistema está constituida por todos los organismos que viven en él, estos se pueden subdividir en tres grandes grupos: a) Productores, constituidos por algas, bacterias y plantas; b) Consumidores, a los cuales pertenecen todos los protozoos y demás animales; y c) Descomponedores, como hongos y bacterias acuáticas (Roldán, 1992).

3.3.1 PLANCTON.

Organismos microscópicos, animales y vegetales, que se encuentran suspendidos en el agua y que se mueven a merced de la corriente. El plancton vegetal o fitoplancton es el responsable de la productividad primaria en los cuerpos de agua lénticos. El zooplancton son los animales microscópicos, como protozoos, rotíferos y crustáceos que se alimentan de algas, iniciando así la cadena trófica (Roldán, 1992).

3.3.1.1 Fitoplancton

Los grupos fitoplanctónicos principales presentes en el agua dulce comprenden dos reinos: el procariótico y el eucariótico, en el primero de ellos figura la división Cyanophyta; en el segundo se incluyen las siguientes divisiones: Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y Cryptophyta. (Roldan, G, 1992)

Algunos factores ambientales interaccionan para regular el crecimiento temporal y espacial del fitoplancton, aparte de los requerimientos fisiológicos básicos como luz y temperatura y de acuerdo con las posibilidades existentes dentro de una zona fótica lo suficientemente amplia como para completar el crecimiento y la reproducción, existen diversos nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos que juegan un papel crítico en la sucesión de las poblaciones algales. La duración y las características del desarrollo de la población pueden estar influenciadas ulteriormente bajo ciertas condiciones por la depredación y el parasitismo (Wetzel, 1995).

La periodicidad estacional de la biomasa y la productividad fitoplanctónica en sistemas equilibrados es casi constante de año en año. Cuando en aguas escasas de fertilidad cuyo contenido en nutrientes limita el desarrollo del fitoplancton se introducen nutrientes, se incrementa la tasa de producción algal. La densidad de la población fitoplanctónica reduce progresivamente la luz disponible y la profundidad de la zona fótica (Wetzel, 1995).

El fitoplancton consta de un conjunto de pequeñas plantas con capacidad de locomoción restringida o nula y cuya distribución está sujeta a los movimientos del agua. En general el fitoplancton está restringido a las aguas lénticas y en los grandes ríos en que la velocidad de la corriente es pequeña (Wetzel, 1995).

3. 4 MARCO REFERENCIAL

3.4.1 Área de Estudio (Quan, 2004).

Ubicación del Lago Izabal: 15° 24' -15° 38' Latitud Norte y 88° 58' – 89° 25' Longitud Oeste.

3.4.2 Generalidades del área (Quan, 2004).

Área de la Cuenca del Lago Izabal: 5,800 km²

Área del Lago Izabal: 671,1623 km².

Profundidad Promedio del Lago Izabal: 12 m.

Volumen total del Lago: 8,300 millones m³.

Precipitación promedio anual: 2004 mm.

Temperatura media anual: 25.2° C.

Altitud de la cuenca: 10-2100 m.s.n.m.

Suelos: Poco profundos sobre caliza y con vocación forestal.

Población en la cuenca del Lago Izabal: 813,192 habitantes (2003)

Actividades Económicas en la cuenca del Lago: Pesca Artesanal, turismo, agricultura, ganadería extensiva e intensiva y Transporte.

3.4.3 Ecosistemas de la zona e importancia del Lago Izabal

El Lago Izabal constituye el principal cuerpo lacustre de Guatemala. Su cuenca incluye los ríos Matanzas, Cahabón y Polochic (sus principales tributarios) y drena hacia el Mar Caribe a través del río Dulce.

Es hábitat crítico de especies en grave peligro de extinción además de ser refugio de aves acuáticas. Este ecosistema es fuente importante para las comunidades locales, específicamente en lo que a pesca artesanal se refiere.

Se estima en más de 100 especies de peces las que habitan el Lago.

Se localizan en el Lago de Izabal las áreas protegidas: Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, valioso ecosistema para el mantenimiento de la calidad del agua del lago y por ende en el mantenimiento de las pesquerías; el Área de Protección Especial de Sierra de Santa Cruz, la Reserva de la Biosfera de Sierra de las Minas, el Parque Nacional de Río Dulce, el Biotopo Chocón Machacas para la conservación del manatí y la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil.

Los humedales asociados al Lago Izabal son importantes productores de especies utilizadas por las comunidades locales.

Es además una importante vía de transporte para los pueblos asentados en sus orillas, hasta el mar Caribe. El valor de los bienes, recursos y servicios aportados por el Lago Izabal

revisten especial importancia si se considera que las poblaciones ubicadas en la cuenca del Lago presentan el índice de desarrollo humano más bajo de Guatemala.

3.4.4 Problemática Ambiental de la zona de Estudio

La cuenca del lago de Izabal y Río Dulce presenta varios problemas relacionados con la calidad del agua que constituyen amenazas para la salud de los habitantes y la conservación de los ecosistemas que dependen de la misma. La descarga directa de aguas residuales, las actividades agrícolas que incluyen el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas, las actividades de exploración petrolera en el lago, de transporte de hidrocarburos por el río Dulce, y de explotación minera en la cuenca, representan un elevado riesgo para la biodiversidad y para el sustento de las comunidades asentadas en la cuenca. Dichas actividades provocan la liberación de nutrientes, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales tóxicos, bacterias y surfactantes tóxicos a los cuerpos de agua, por lo que la integridad ecológica de los cuerpos de agua sufre alteraciones negativas. Se ha determinado que el lago de Izabal se encuentra en la actualidad en un estado eutrófico por lo que de continuarse la actual tendencia de descarga de altas concentraciones de nutrientes, el proceso de eutrofización se verá acelerado, lo que podría provocar la muerte del lago de manera prematura, con los consiguientes daños ecológicos y económicos para el departamento de Izabal.

Aunado a esta problemática del Lago de Izabal está el problema de las sobrecargas, de desechos sólidos y líquidos, que los ríos afluentes transportan.

La presencia de asentamientos humanos en la zona de influencia, ha provocado gradualmente el deterioro de la zona. Se han alterado significativamente los cuerpos de agua, debido a que las tierras, incluyendo las zonas de captación de los ríos son utilizadas para diversas actividades humanas, principalmente la agricultura, ganadería y vivienda. Estas actividades pueden producir aumento de nutrientes en el agua, la contaminación por sustancias químicas y la alteración en el sustrato de los mismos, lo cual afecta la biología y

ecología de las comunidades de organismos presentes y esto trae como consecuencia la reducción de la diversidad de organismos. (Sponseller et al, 2001).

Las amenazas a las cuales se ve sometido el Lago de Izabal son el avance de la frontera agrícola por invasiones, expansión de poblados y fincas ganaderas. La tala y cacería ilegal se encuentran dentro de las amenazas más importantes ya que provocan la pérdida de biodiversidad en el área. Por otro lado, la falta de control y vigilancia ha provocado que se desarrolle infraestructura privada, comercial y turística, la cual está prohibida. Esto trae como consecuencia la generación de basura y otros desechos que provoca graves problemas de contaminación ambiental.

La principal amenaza para este cuerpo de agua es la contaminación provocada por la descarga de desechos sólidos y líquidos, provenientes de usos domésticos, agrícolas, turísticos etc. Esto a su vez es la causa de otras amenazas tales como la expansión de *Hydrilla verticillata*. También el río se ve afectado por la sobre pesca que ha mermado las poblaciones de especies hidrobiológicas de importancia para el mantenimiento de las poblaciones humanas. Además, la erosión causada por la deforestación de las riberas, las altas velocidades de navegación. (Quan, 2005)

En el año 2000, como resultado de un estudio orientado a evaluar los impactos del huracán “Mitch” se dio a conocer la presencia de la planta herbácea *Hydrilla verticillata* en el Lago Izabal. En el 2002, se determinó que no sólo la presencia sino el incremento de poblaciones de la planta en el Lago Izabal.

Las aguas poco profundas (tal es el caso del Lago Izabal), son propicias para el crecimiento de *Hydrilla*. El dosel denso que produce *Hydrilla verticillata* limita la penetración de luz a especies de plantas nativas sumergidas que crecen más lentamente y a mayor profundidad, cambia las relaciones fitoplancton y zooplancton ocasionando un agotamiento del oxígeno disuelto y la mortandad de peces.

La información sobre la calidad de agua de las áreas protegidas en relación con el manejo de las zonas es muy limitada, lo que genera que los planes y estrategias de las mismas también lo sean. Por lo que es de suma importancia ampliar el estudio sobre la calidad el agua en la zona, ya que esta es uno de los principales ejes del funcionamiento de todo el ecosistema.

4. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del agua se produce tanto por desechos sólidos como líquidos, que son descargados a los cuerpos de agua, dando como resultado que la calidad del agua se vea afectada, iniciando procesos eutróficos.

Aunque actualmente se llevan a cabo varias iniciativas de monitoreo de la calidad del agua en el Lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLI, USAC, UVG), los datos producto de estos estudios no permiten visualizar un patrón debido a que los métodos de colecta y de análisis son diferentes así como también los parámetros medidos difieren de una institución a otra.

De igual manera los análisis de agua no se han realizado con el fin de evaluar el impacto de las actividades antropocéntricas en la misma y si bien se ha generado una importante cantidad de información, tanto de parámetros fisicoquímicos del agua como del fitoplancton, estos no han sido relacionados entre sí para determinar si los cambios en los parámetros provocan cambios en la composición del Plancton que a su vez puede indicar cambios en el agua.

Es por esto que la presente investigación tiene como finalidad determinar la relación entre algunos parámetros fisicoquímicos y la composición del fitoplancton, ya que este podría entonces ser utilizado como indicador biológico de la situación actual del Agua del Lago de Izabal.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar el fitoplancton como potencial indicador biológico de la calidad del agua del Lago de Izabal.

5.2 Específicos

5.2.1 Determinar las fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos y como influyen en el fitoplancton.

5.2.2 Evaluar el impacto de los ríos que desembocan en el Lago y que arrastran desechos sólidos y líquidos, a través de los resultados de los parámetros fisicoquímicos.

5.2.3 Evaluar los posibles sitios de muestreo que sirvan como base para establecer un monitoreo fijo de calidad de agua.

6. HIPÓTESIS

- 6.1 Las fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos presentes en el agua del Lago de Izabal influyen en la composición del Fitoplancton.

7. METODOLOGÍA

7.1 POBLACIÓN Y MUESTRAS

- *Población*. Comunidad de fitoplancton del Lago de Izabal.
- *Muestra*. Géneros de fitoplancton del Lago de Izabal. 100 L de agua en cada punto de muestro. 6 puntos de muestreo. Ver mapa No. 1
- *Tratamientos*. Tratamiento 1: Ríos aledaños a zonas pobladas.
Tratamiento 2: Ríos alejados de zonas pobladas.
Tratamiento 3: Ríos con cobertura boscosa circundante (Anexo No. 2).
- *Variable Independiente*. Tratamientos o sitios de muestreo.
- *Variable Dependiente*. Biomasa, composición y abundancia de fitoplancton.
- *Covariables*. Los parámetros fisicoquímicos (N total, Nitritos y Nitratos, O total, Fósforo, pH y Temperatura).

7.2 MATERIALES Y EQUIPO

Equipo de campo

- Botes estériles de Boca Ancha de 100 ml.
- Red para Fitoplancton
- Papel Aluminio
- Equipo multiparamétrico HACH
- GPS
- Cámara fotográfica
- Boletas de campo

Equipo de Laboratorio

- Microscopio
- Cámara de Segdwick- Rafter
- Pipetas de 1 ml.
- Pipetas de 2 ml.
- Pipetas de 5 ml.
- Pipetas de 10 ml.
- Portaobjetos
- Tubos de ensayo
- Beaker de 50 ml.
- Beaker de 100 ml.
- Beaker de 250 ml.
- Gradilla para tubos de ensayo
- Pipeteros

Reactivos

- Kit de Análisis de Agua

Equipo de transporte

- Lancha

Material y equipo de Oficina

- Marcadores
- Maskin tape
- Computadora
- Impresora
- Papel

Químicos

- Combustible
- Tinta para impresora

Recurso Humano

- Equipo Técnico de Amasurli
- Directora de Amasurli
- Asesor Lic. Claudio Méndez
- M.Sc. Bessie Oliva
- Tesista Sonia Lemus

7.3 METODOLOGÍA

7.3.1 Selección de puntos de muestreo

La selección de puntos de muestreo se llevó a cabo en base a datos de los parámetros fisicoquímicos del agua tomados los años 2006 – 2008 por Amasurli y Escuela de Química de USAC. Los sitios que presentaban cambios en los parámetros fueron los seleccionados para ser medidos.

7.3.2 Puntos de Muestreo

Para la colecta de muestra se eligieron 6 puntos de muestreo, siendo estos: Centro del Lago, Río Oscuro, Polochic Bujajal, Entrada canal CGN, Salida canal CGN, Río Túnico, los cuales fueron seleccionados según el inciso anterior (Anexo No.1). En cada punto de muestreo se tomaron nuevamente los parámetros fisicoquímicos del agua.

No.	Latitud	Longitud	Nombre
1	15.4713	-89.2511	Centro III
2	15.3739	-89.3361	Río Oscuro
3	15.3629	-89.3629	Polochic bujajal
4	15.5037	-89.3774	Canal Entrada
5	15.5085	-89.3703	Canal Salida
6	15.5184	-89.3025	Río Sauce

7.3.3 Toma de muestras

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA

En cada punto de muestreo establecido se tomaron muestras de agua, las cuales constaron de 2 litros de agua por punto de muestreo, en botes previamente lavados con jabón libre de fosfatos, HCl al 2% y agua destilada; esto para evitar la contaminación de las muestras. En cada punto se procedió a tomar las muestras a una profundidad aproximada de 50 cm. de la superficie.

A una de las muestras de cada punto se le agregaron 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado para evitar que sigan dándose ciertas reacciones, que pueden afectar los resultados de los análisis químicos posteriores.

En cada punto se tomaron los parámetros *in situ* principales: pH, temperatura, % de oxígeno, oxígeno disuelto, salinidad y conductividad.

Toma de muestras de plancton

En cada punto de muestreo se filtraron 100 litro de agua mediante una red con un mesh de 80 micrómetros, reduciendo el volumen a 100 ml. Posteriormente se le agregó a la muestra lugol y formalina para la preservación de los organismos.

7.4 Análisis de muestras

Con las muestras preservadas en lugol, se procede a separar los individuos encontrados en cada muestra, identificando cada muestra debidamente (No. de muestreo, punto de muestreo y No. de muestra). Luego se procedió a determinar los géneros presentes en cada muestra con la ayuda de un microscopio.

A las muestras de agua tomadas se les realizaron análisis fisicoquímicos para establecer el cambio en la calidad del agua, dentro de estos análisis cabe destacar los análisis de nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno total, fosfatos y fósforo total.

Los resultados fueron analizados a través de un Análisis exploratorio con técnicas de ordenación y clasificación para determinar la relación que existe entre las variables (Análisis de Correspondencia Canónica). Además se determinó el potencial del fitoplancton como bioindicador a través del análisis de los géneros presentes que son indicadores de contaminación por actividades humanas.

8. RESULTADOS

Los resultados de las características fisicoquímicas y biológicas del lago de Izabal se describen en las siguientes Tablas.

8.1 Parámetros Fisicoquímicos

Tabla No. 1. Características fisicoquímicas de los sitios de muestreo realizados en Izabal de Junio a Diciembre de 2009.

Puntos de monitoreo	Mes 2009	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA						
		pH	Temperatura °C	Oxígeno disuelto mg/L	Oxígeno disuelto %	Conductividad μ S/cm	Salinidad oo/oo	Transparencia mts.
Centro III								
	Junio	x	29,55	7,05	93,2	258,7	0	3
	Agosto	8,57	30,05	5,73	76,7	234	0,11	2
	Octubre	8,22	29,66	6,39	84	2,25	0,11	2
	Diciembre	8,49	28,5	8,24	107	225	0	4,5
Río Oscuro desembocadura								
	Junio	x	28	0,95	12,7	1589	0	1
	Agosto	7,09	27,15	1,22	15,3	139	1,22	1,5
	Octubre	7,14	25,94	2,16	25,4	174	0,08	1,5
	Diciembre	6,93	27,8	2,8	34,3	96,6	0	0,5
Polochic Bujajal								
	Junio	x	26,4	7,21	89,2	230	0	1
	Agosto	8,05	25,55	5,95	72,8	227	0,11	1
	Octubre	7,93	23,83	7,8	90,1	214	0,1	0,5
	Diciembre	7,96	26,1	8	98,2	151,8	0	1,5
Canal entrada CGN								
	Junio	x	33,4	7,37	104,4	255	0	1,5
	Agosto	8,59	32,99	6,02	84,2	229	0,11	1,5
	Octubre	8,2	29,77	6,85	89,2	233	0,11	2
	Diciembre	8,49	31,3	9,39	125,8	212	0	1,5
Canal salida CGN								
	Junio	x	33,8	9,9	138,2	248	0	1
	Agosto	8,53	33,27	6,2	85,4	230	0,11	2
	Octubre	8,6	30,23	9,42	125	219	0,1	2
	Diciembre	8,73	31,8	10,41	142,3	189,1	0	2,5
Río Sauce								
	Junio	x	33,1	7,45	104,1	266	0	1,5
	Agosto	8,59	31,59	5,97	81,5	233	0,11	1,5
	Octubre	8,16	25,73	7,2	88,4	201	0,09	0,5
	Diciembre	8,42	27,9	8,72	116,7	125,9	0	0,5

El pH no fue posible medirlo *in situ* en el mes de junio, debido a problemas con la sonda de pH. El pH fue ligeramente alcalino en casi todos los puntos de muestreo, a excepción del canal de salida de CGN con 8.73 unidades en el mes de diciembre. Todos los puntos se mantuvieron dentro de los límites permisibles para aguas potables establecidos por Coguanor (6.5 a 9.0 unidades).

Los valores de Conductividad fueron normales, alrededor de 204 uS/cm, aunque durante el segundo muestreo se presentaron valores muy bajos.

La Temperatura del agua mostró valores entre 22.9 a 33.8 grados Celsius (° C). Dichos valores se encuentran dentro del Límite Máximo Permissible.

El Oxígeno Disuelto en % fue en promedio de 86.84%, lo cual refleja concentraciones normales para el desarrollo de vida acuática.

8.2 Nutrientes

Los valores promedio para Nitrógeno de Amonio, Nitrógeno de Nitritos y Nitrógeno de Nitratos fueron 0.039, 0.07, 3.5 mg/L, respectivamente. Los valores promedio para Fósforo Total y Fósforo de Ortofosfatos fueron 0.245 y 0.1129 mg/L, respectivamente.

Los valores se encuentran dentro de los rangos propuestos por Roldán (1992) y Wetzel (2001) para clasificar un lago como oligotrófico, excepto Fósforo Total y Fósforo de Ortofosfatos. No obstante los valores de ambos son relativamente bajos para considerarse el lago en estado de eutrofización.

Los sitios que presentan los niveles más altos de amonio, nitritos y nitratos fueron Polochic Bujajal y Canal de Entrada CCGN durante el mes de Diciembre. En este mes se nota un aumento en los niveles de las características fisicoquímicas de todos los sitios de muestreo.

Tabla No. 2

Concentraciones de Nutrientes de los sitios de muestreo realizados en el Lago de Izabal, de Julio a diciembre del año 2009.

Puntos de monitoreo	Mes 2009	NUTRIENTES				
		Amonio mg/L	Nitratos mg/L	Nitritos mg/L	orto-fosfato mg/L	foforo total mg/L
Centro III						
	Junio	0,03	0,9	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	0,9	0,03	0,09	0,09
	Octubre	0,03	0,9	0,06	0,09	0,09
	Diciembre	0,03	0,9	0,04	0,09	0,09
Río Oscuro desembocadura						
	Junio	0,03	2,3	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	5,6	0,03	0,09	0,09
	Octubre	0,03	0,9	0,1	0,09	0,09
	Diciembre	0,03	8,9	0,06	0,4	0,09

Polochic Bujajal						
	Junio	0,03	7,2	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	1,2	0,05	0,09	2,32
	Octubre	0,14	0,9	0,2	0,33	0,28
	Diciembre	0,03	13,7	0,04	0,09	0,09
Canal entrada CGN						
	Junio	0,03	0,9	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	0,9	0,03	0,09	0,09
	Octubre	0,03	0,9	0,13	0,09	0,09
	Diciembre	0,03	14,1	0,03	0,09	0,09
Canal salida CGN						
	Junio	0,03	2,8	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	0,9	0,07	0,09	0,25
	Octubre	0,03	0,9	0,16	0,09	0,09
	Diciembre	0,03	10,4	0,07	0,09	0,09
Río Sauce						
	Junio	0,03	3,5	0,03	0,09	0,09
	Agosto	0,03	2,5	0,03	0,09	0,09
	Octubre	0,04	0,9	0,38	0,09	1,23
	Diciembre	0,13	0,9	0,03	0,09	0,09

8.3 Fitoplancton

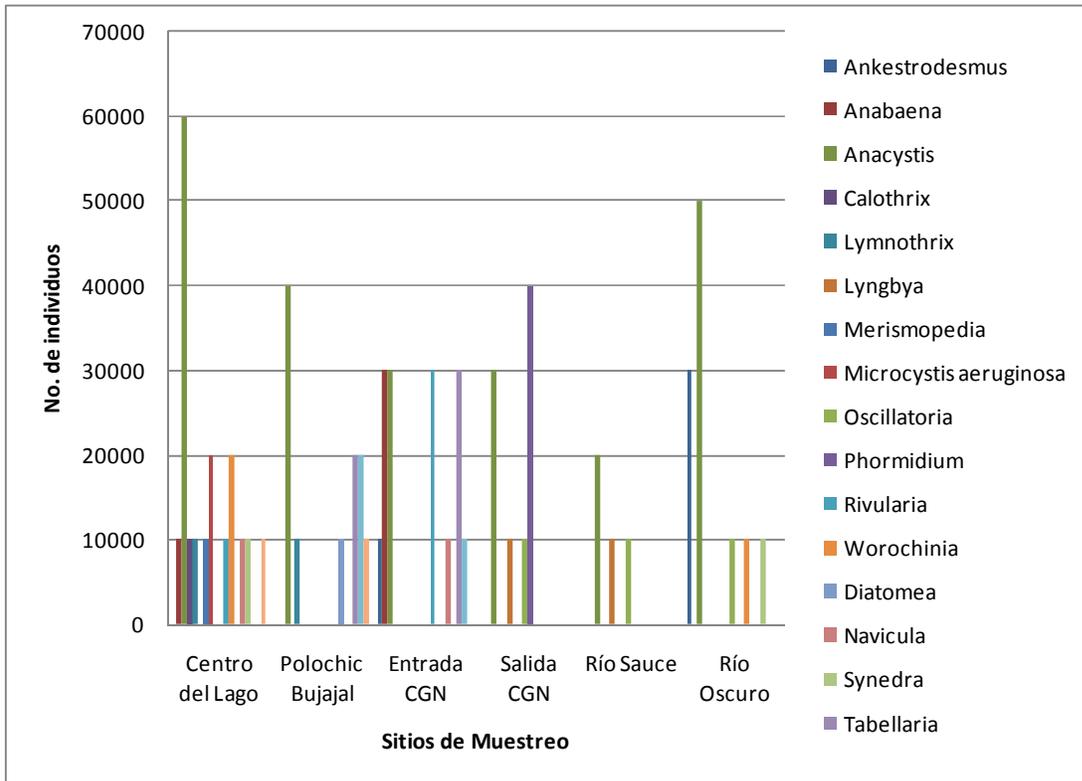
Las muestras de fitoplancton fueron preservadas con lugol y en un lugar oscuro. Se tomó una alícuota de un mililitro de cada muestra y se analizó al microscopio. Se contó el número de individuos de cada género presente en la muestra. El resultado de cada género fue multiplicado por 10,000 ml que es el volumen total de la muestra recolectada.

Los géneros de fitoplancton encontrados en cada punto de muestreo se presentan en las siguientes gráficas.

Gráfica No. 1

Resultados muestreo No. 1

Número de Individuos por géneros encontrados en cada sitio de muestreo

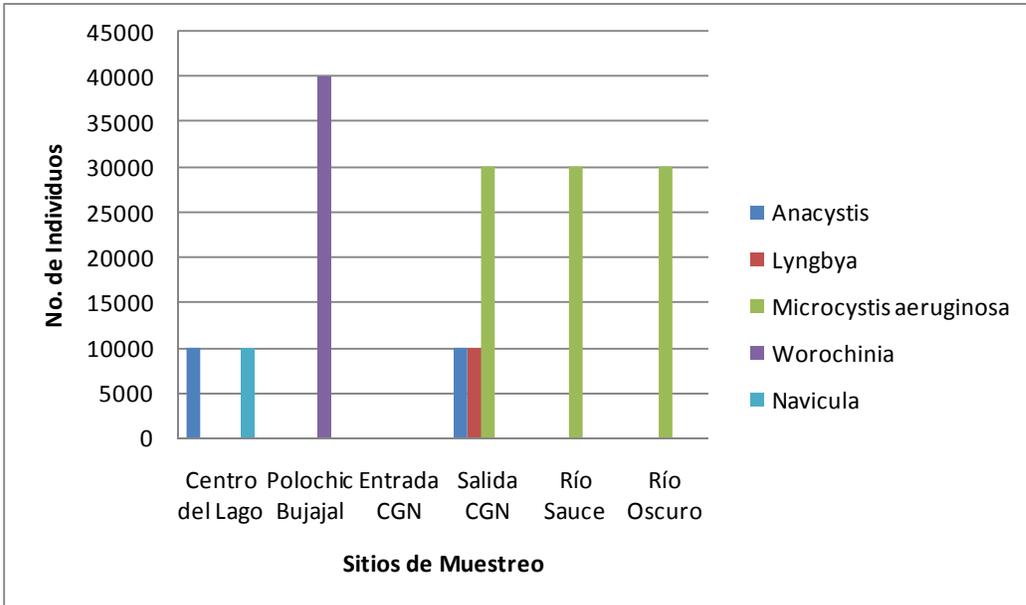


Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No. 2

Resultados muestreo No. 2

Número de Individuos por géneros encontrados en cada sitio de muestreo

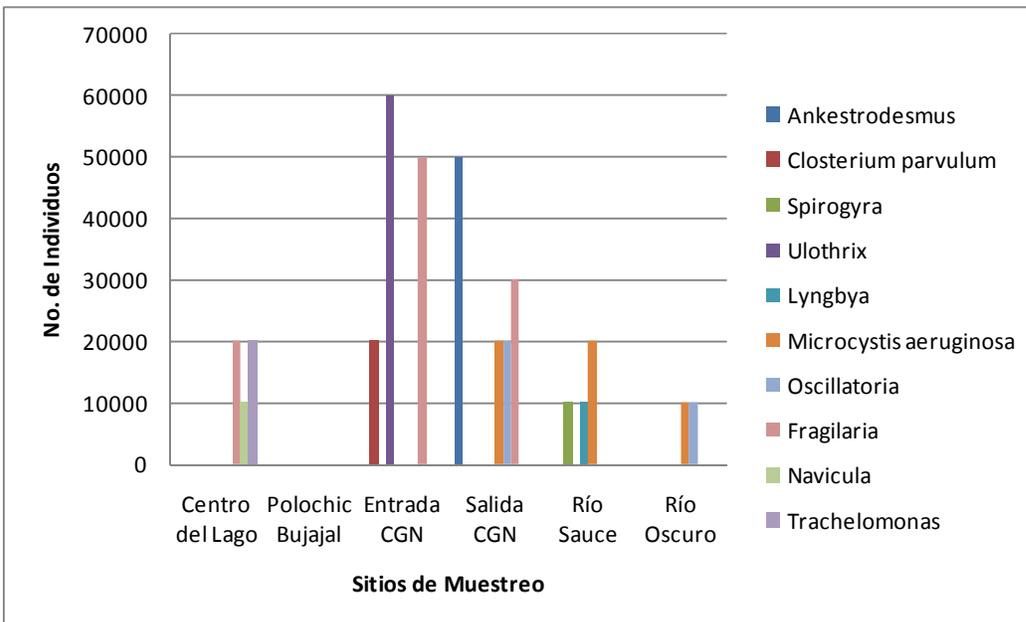


Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No. 3

Resultados muestreo No. 3

Número de Individuos por géneros encontrados en cada sitio de muestreo

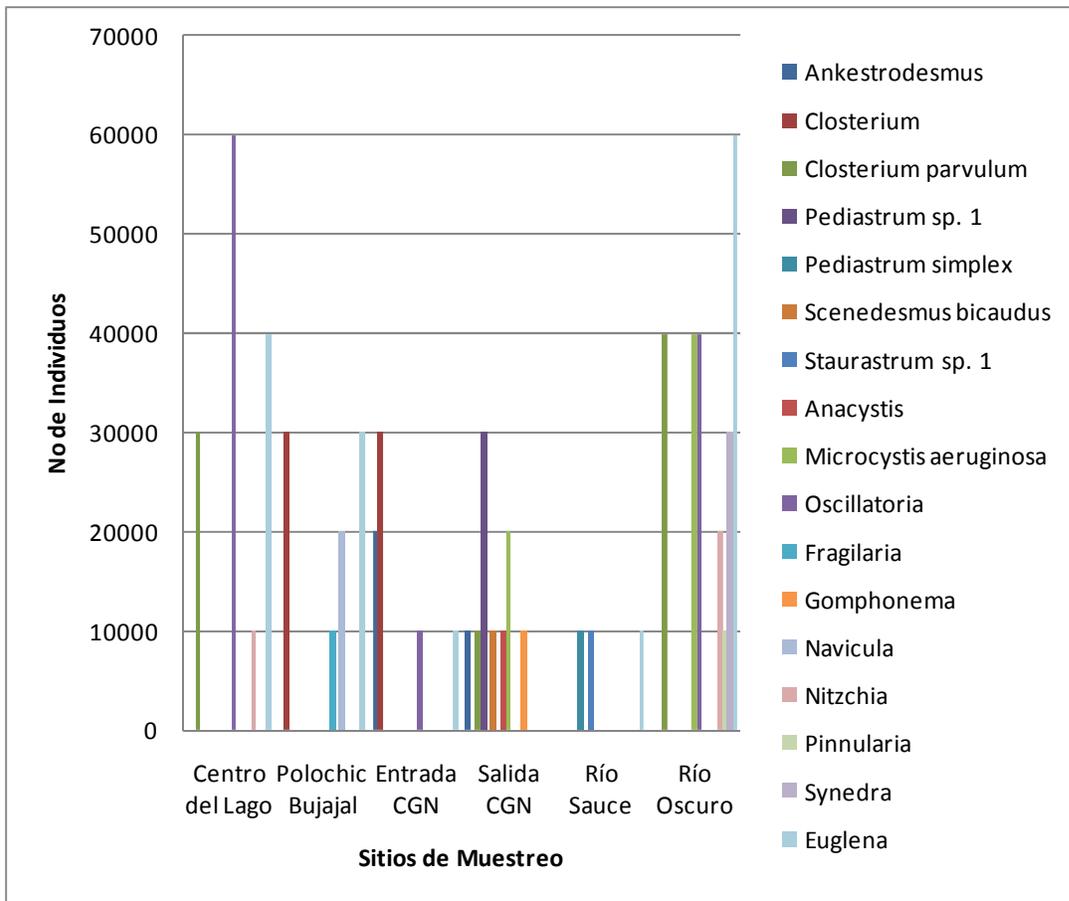


Fuente: Datos experimentales.

Gráfica No. 4

Resultados muestreo No. 4

Número de Individuos por géneros encontrados en cada sitio de muestreo



Fuente: Datos experimentales.

Como se muestra en las gráficas anteriores, la División más diversa fue la División Chlorophyta (*Ankestrodesmus sp.*, *Closterium sp.*, *Pediastrum sp.*, *Scenedesmus sp.*), durante los cuatro muestreos realizados. Sin embargo la División más abundante fue Cyanophyta (*Anabaena sp.*, *Anacystis sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya sp.*, *Oscillatoria sp.*). En el segundo muestreo se observa un decremento en los géneros de todas las divisiones, pero se muestra un aumento en los siguientes muestreos.

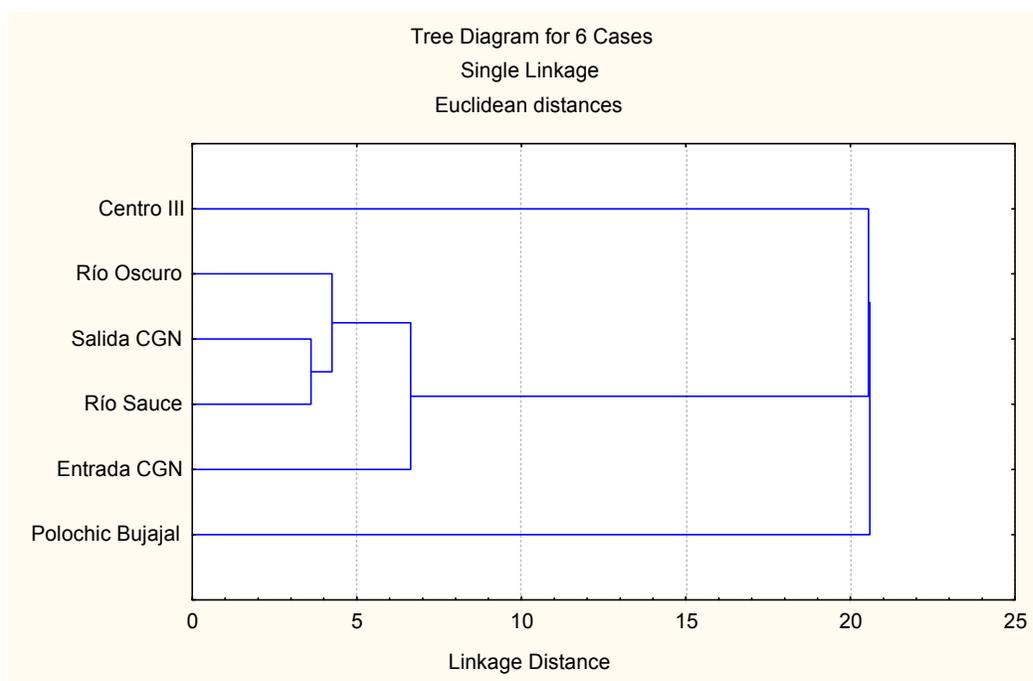
8.4 Análisis Estadístico

Se utilizó estadística no paramétrica para evaluar las riquezas y abundancias del fitoplancton. De la misma manera se evaluaron los parámetros fisicoquímicos. Para la clasificación y ordenación de datos, se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico y un Análisis de Correspondencia. Para la realización de estos análisis se utilizaron las abundancias relativas de cada taxa y cada muestra. La relación entre las características fisicoquímicas y la distribución del Fitoplancton se determinó mediante una correlación no paramétrica de Spearman.

8.4.1 Agrupamiento jerárquico

Gráfica No. 5

Análisis de Agrupamiento Jerárquico

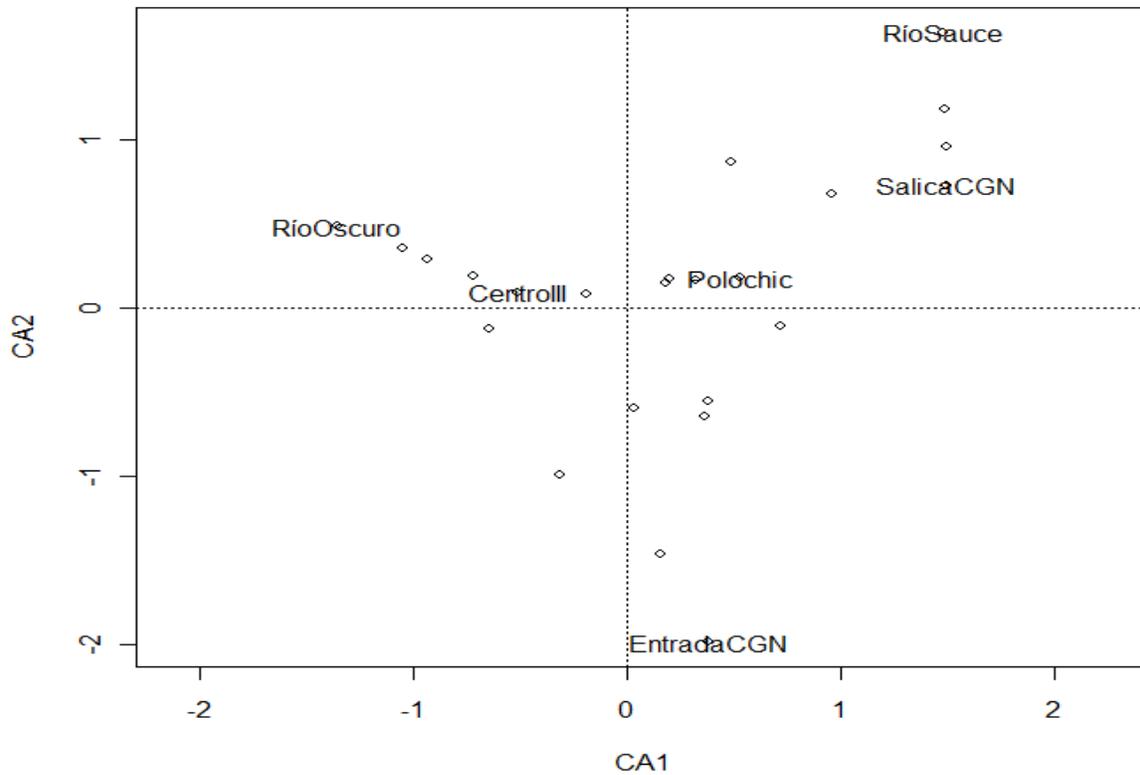


En el análisis de agrupamiento jerárquico realizado se observa que los lugares más relacionados son Río Sauce y Salida CGN, quienes comparten características fisicoquímicas y fitoplanctónicas.

Los sitios más separados según el análisis de agrupamiento jerárquico son Centro III y Polochic Bujajal, pero comparten composición taxonómica entre ellos.

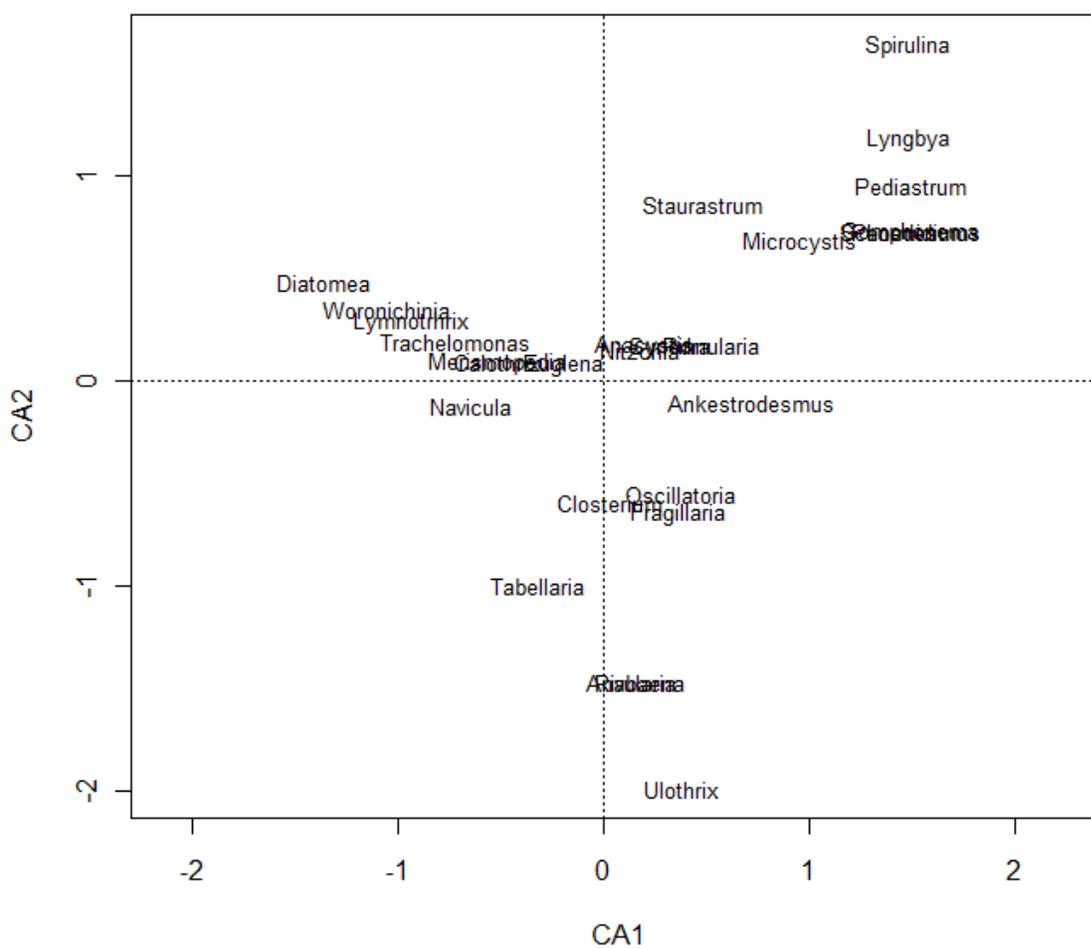
8.4.2 Análisis de correspondencia

Gráfica No. 6
Análisis de Correspondencia
Sitios de muestreo



El análisis de correspondencia presenta los sitios de muestreo más cercanos y que comparten características (parámetros físicoquímicos del agua y la composición taxonómica de fitoplancton). Los sitios más cercanos son Salida CGN y Río Sauce.

Gráfica No. 7
Análisis de Correspondencia
Géneros de fitoplancton



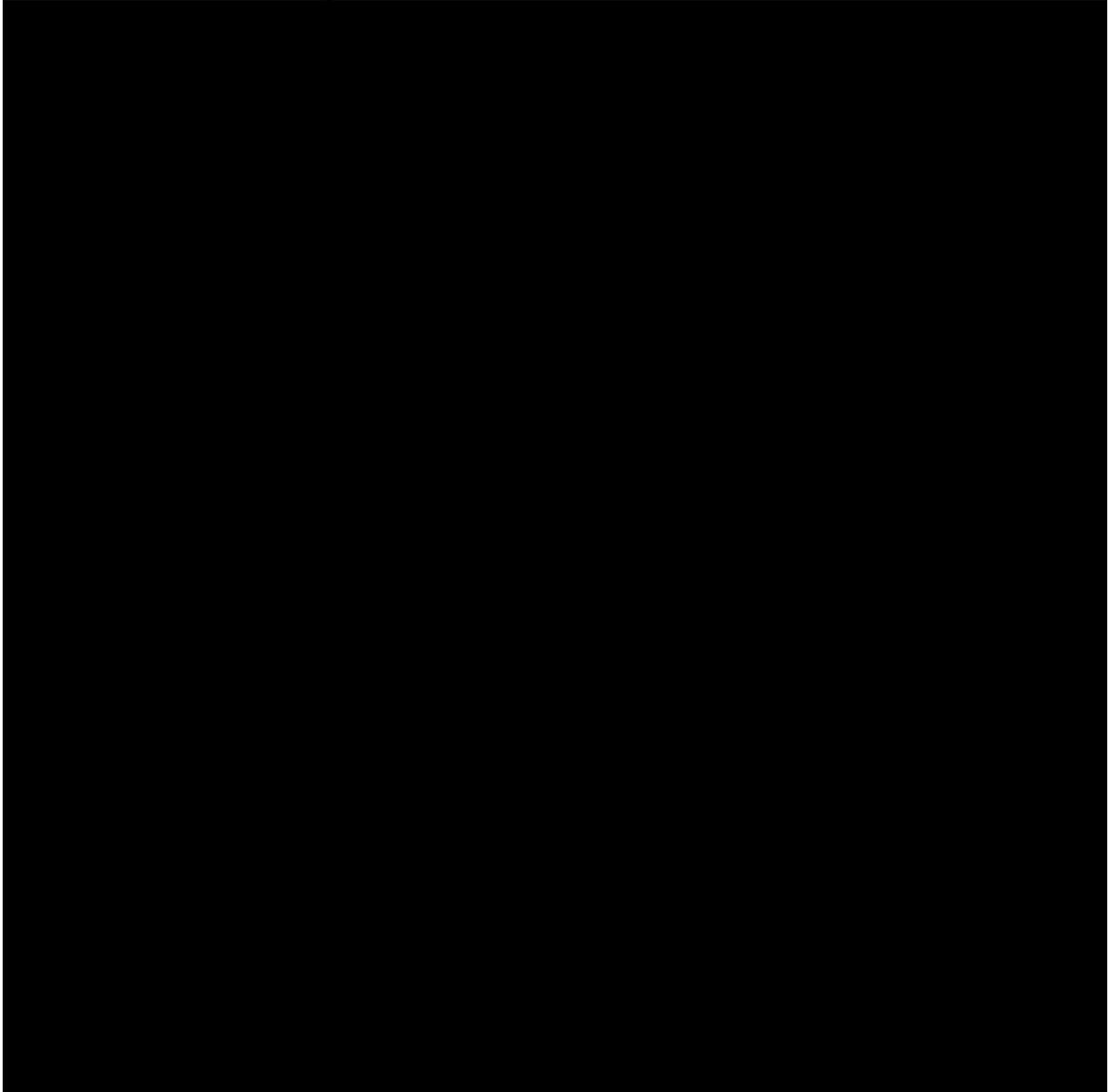
La gráfica anterior presenta el análisis de correspondencia que agrupa los géneros de fitoplancton que comparten características (parámetros fisicoquímicos del agua y sitios de muestreo). Los sitios más cercanos son Salida CGN y Río Sauce.

8.4.3 Correlación de Spearman

La correlación de Spearman calcula la correlación existente entre variables. Un valor de -1 ó +1 indica una relación lineal entre variables. Una correlación próxima a 0 indica que no hay relación entre variables. Datos cercanos a -1 indican relación fuerte y negativa. Datos cercanos a +1 indican una relación fuerte y positiva.

Tabla No. 3

Resultados correlación de Spearman



La tabla anterior muestra que según los resultados de la correlación de Spearman, no hay relación entre las características fisicoquímicas y la distribución del fitoplancton. Los datos arriba marcados son aquellos con los valores más elevados. Ninguno de esos valores se acerca a -1 ó +1.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al examinar los valores de conductividad, pH y temperatura se evidencia que no existen diferencias entre los sitios de muestreo y dichos parámetros físicoquímicos se encuentran dentro del límite permitidos por Coguanor (Anexo 3). El sitio con valores más altos para estos parámetros *in situ* fue Salida CGN.

Los procesos de eutrofización en los lagos se ven acelerados principalmente por el incremento de la concentración de los nutrientes en el medio, así como el crecimiento exagerado de las poblaciones de algas que reducen los niveles de oxígeno y la transparencia en el agua, limitando las condiciones propicias para las especies acuáticas.

Los valores límites establecidos por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Brasil - CONAMA - para aguas dulces, son para Nitrógeno de Amonio 1.0 mg/L, Nitrógeno de Nitritos 1.0 mg/L, Nitrógeno de Nitratos 10 mg/L y Nitrógeno Total 10 mg/L (Anexo 3).

En cuanto a los nutrientes, los valores registrados en los muestreos de los derivados del nitrógeno no sobrepasan el límite establecido por CONAMA, pues los valores máximos registrados para Amonio, Nitritos, Nitratos son de 0.039, 0.072 y 3.5 mg/L respectivamente, por lo que se puede considerar que el lago de Izabal se encuentra en un estado oligotrófico para estos parámetros. Según las normativas de la Environmental Protection Agency - EPA - los valores reportados en este estudio se encuentran entre los valores máximos permisibles.

El valor límite establecido por CONAMA para Fósforo Total es de 0.020 mg/L. No existen recomendaciones sobre el valor de Fósforo de Ortofosfatos. Roldán (1992) señala que el límite en aguas naturales no contaminadas para Fósforo de Ortofosfatos es de 0.001 - 0.002 mg/L y Fósforo Total es de 0 - 0.010 mg/L; los valores por arriba de estos se consideran en estado de eutrofización (Anexo 3).

Los valores máximos registrados en el Lago de Izabal para Fósforo de Ortofosfatos y Fósforo Total son de 0.245 mg/L y 0.1129 mg/L respectivamente. Ambos registros sobrepasan los límites establecidos por CONAMA y por Roldán (1992), lo que indica que han ocurrido eventos extraordinarios de contaminación que pueden ocasionar eventualmente, que el lago llegue a un estado eutrófico, producto de la presencia de comunidades en sus cercanías, donde usualmente vierten aguas residuales y/o se ubican lavaderos comunales a orillas del lago, además del desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas.

Las características de cada sitio de muestreo depende del grado de contaminación y la presión antropogénica al cual este sometido cada uno.

En cuanto al Fitoplancton analizado, según se muestra en las gráficas No. 1, 2, 3 y 4, en los resultados, la División más diversa fue la División Chlorophyta, durante los cuatro muestreos realizados. Sin embargo la División más abundante fue Cyanophyta. En el

segundo muestreo se observó una disminución de géneros de fitoplancton, pero luego aumentan para los siguientes muestreos (Anexo 4).

Se colectaron en total 2,000,000 especímenes, que corresponden a 22 géneros.

Las clorofitas son las algas más conspicuas en agua dulce, en donde proveen de oxígeno, el cual favorece la actividad de bacterias aeróbicas que intervienen en la descomposición de materia orgánica (Reynolds, 1999), por lo que están asociadas a cuerpos de agua saludables. Sin embargo, a pesar de ser la División más diversa, la más abundante es la División Cyanophyta, especialmente el género *Microcystis* y *Anacystis*, los cuales se encuentran normalmente en la mayoría de lagos, sin embargo si se producen florecimientos puede ser un peligro para los organismos que consumen el agua, ya que se ha comprobado su actividad hepatotóxica.

Estos florecimientos pueden deberse a cambios de temperatura del agua, y al exceso de nutrientes (especialmente fosfatos), y se observan como manchas de color verde sobre el agua, lo cual no fue observado en ninguno de los puntos de muestreo a lo largo del año, sin embargo la elevada cantidad de algas cianofíceas (*Microcystis* y *Anacystis*) podría indicar un proceso incipiente de eutroficación de estos cuerpos de agua.

Otro aspecto que debe considerarse en cuanto a la abundancia de este tipo de algas, es que tienen un alto grado de adaptación a diversas intensidades de luz (Fuller, 1985), lo que hace que sean abundantes aún en condiciones en las que se impide el desarrollo de otro tipo de algas, como el los meses de invierno cuando existe una menor cantidad de luz disponible, lo cual es más evidente en las regiones templadas, ya que en las regiones tropicales la misma es relativamente constante durante todo el año. Por otra parte el crecimiento de algas como *Microcystis* impide el paso de luz hacia estratos inferiores, lo que interfiere en el crecimiento de las clorofíceas.

Chlorella de la División Chlorophyta, también presenta altos recuentos a lo largo de los muestreos, lo cual podría ser debido a que esta división es la más importante en sistemas de agua dulce.

Staurastrum y *Scenedesmus* son otros de los géneros con mayor diversidad de especies. A continuación se describen algunas de las características de los géneros más importantes, en cuanto a abundancia o diversidad, encontrados para este proyecto:

a) *Microcystis aeruginosa*. (Roldán, 1992) Está asociada a contaminación humana (contaminación orgánica). Son más abundantes en períodos lluviosos. Esta especie fue una de las más abundantes en la mayoría de muestreos.

b) *Scenedesmus sp.* (Reynolds, 1999). La abundancia de estas algas disminuye a medida que se desarrollan cianofíceas, las cuales producen compuestos como hidroxamatos, lo que disminuye el número de individuos de *Scenedesmus* y se favorece el de las cianofíceas y otros competidores. Este género aunque no se registró como uno de los más densos, si se caracterizó por ser uno de los más diversos, es decir, con el mayor número de especies. (Ramírez, J. 2000).

- c) *Staurastrum sp.* Organismos Unicelulares, con una constricción al medio de la célula, en la mayoría de especies, paredes con pequeños poros u ornamentos. Este género fue uno de los más diversos.
- d) *Closteriopsis sp.* Organismos Unicelulares o coloniales, con uno o más cloroplastos.
- e) *Closterium sp.* Organismos de Cuerpo celular largo y curvado, con cloroplastos laminados.

En general se observa una mayor diversidad de cyanofitas, clorofitas y crysofitas en el Lago de Izabal.

En el análisis estadístico se muestra que, según el análisis de agrupamiento jerárquico realizado (gráfica No. 5 de resultados), los lugares más relacionados son Río Sauce y Salida CGN, quienes comparten características fisicoquímicas y fitoplanctónicas.

Los sitios más separados según el análisis de agrupamiento jerárquico son Centro III y Polochic Bujajal, pero comparten composición taxonómica entre ellos (los géneros que comparten son *Trachelomonas*, *Lymnothrix* y *Merismopedia*).

Polochic Bujajal es un sitio con alto grado de contaminación por desechos de las diferentes actividades antropogénicas que se dan a lo largo del margen del Río Polochic, lo que se evidencia en los altos niveles de nutrientes. Es en este sitio donde se reportan géneros de fitoplancton que indican un cuerpo de agua con alto grado de eutrofización.

Centro III no presenta niveles altos en los valores de los nutrientes, pero comparte características taxonómicas con Polochic Bujajal, lo que puede deberse a que convergen en el centro del Lago.

El análisis de correspondencia (CCA por sus siglas en inglés) muestra que los sitios de muestreo más cercanos y que comparten la composición taxonómica son Salida CGN y Río Sauce debido posiblemente a que comparten la presencia de ciertos géneros de fitoplancton (*Microcystis sp.*, *Pediastrum sp.*, *Lyngbya sp.*), indicadores de contaminación por actividades humanas.

La tabla No. 4 de los resultados muestra que, según la correlación de Spearman, no hay relación entre las características fisicoquímicas y la distribución del Fitoplancton. Este análisis indica que no existe una gran diferencia en la composición de fitoplancton en los sitios de muestreo (Anexo 4). Los organismos más abundantes, *Anacystis* y *Microcystis*, se observaron en todos los sitios de muestreo, pero en mayor cantidad en Centro III.

Aunque los parámetros fisicoquímicos no mostraron fluctuaciones significativas, los datos de fitoplancton muestran patrones que sí indican cambios en los nutrientes del agua, que aunque no fueron detectados por los métodos de laboratorio utilizados, provocaron la proliferación de ciertos géneros (*Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya sp.*) indicadores de contaminación en los sitios de monitoreo: Río Sauce y Salida CGN que es, donde probablemente, las actividades antropogénicas estén deteriorando la calidad del agua.

10. CONCLUSIONES

1. Los valores de conductividad, pH y temperatura evidencian que no existen diferencias entre los sitios de muestreo.
2. Los nutrientes no muestran valores por encima de los límites permisibles según Coguanor. Pero según CONAMA los valores registrados para el fósforo total y los ortofosfatos sobrepasan los límites establecidos, mostrando el inicio de un proceso eutrófico en el Lago.
3. La División más diversa fue la División Chlorophyta, sin embargo División más abundante fue Cyanophyta, división donde se encuentran los géneros indicadores de cuerpos de agua contaminados, cuando existen florecimientos de los mismos, los cuales pueden causar daños a los organismos que utilizan el agua para vivir.
4. No existe una gran diferencia en la composición taxonómica de los sitios de muestreo. El análisis jerárquico y el análisis de componentes principales muestran que los sitios de muestreo que más comparten características son Río Sauce y Salida CGN.
5. El fitoplancton puede constituir un buen indicador de la calidad del agua en el Lago de Izabal, basándose en la sensibilidad que tienen ciertos géneros, a los cambios en los nutrientes del agua por causa de actividades humanas.

11. RECOMENDACIONES

La información en Guatemala sobre indicadores biológicos es muy escasa, principalmente sobre fitoplancton, por lo que se recomienda realizar más estudios en el Lago de Izabal que incluyan bioindicadores y su relación con las variables ecológicas del área.

Además se recomienda hacer análisis a una escala más detallada para poder determinar así cualquier fluctuación en los parámetros fisicoquímicos.

Realizar más estudios a detalle en los sitios de muestreo: Salida CGN y Río Sauce, que fueron los que presentaron géneros de fitoplancton indicadores de contaminación, para determinar las actividades humanas que la causan.

12. BIBLIOGRAFÍA

ABARZÚA, M. *et. al.* 1991. Relación entre la abundancia y biomasa de fitoplancton y bacterioplancton en aguas superficiales del Golfo de Arauco, Chile. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 8 Pp.

APHA, AWWA and WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 20th Edition. United Book Press. U.S.A. 980 – 1020 Pp.

COGUANOR. 2000. Norma Obligatoria Guatemalteca de Agua Potable. NGO 29.001.98. 1ra. Revisión. Especificaciones. Pág. 20.

CONAMA Consejo Nacional de Medio Ambiente. 2006. Resoluciones de Calidad de Agua. Resolución CONAMA No. 357, de 17 de marzo de 2005. Brasil. 50 Pp.

EPA. 1986. Environmental Protection Agency. Gold Book of Quality Criteria for Water. EPA 440/5-86-001. USA. 149 – 280 Pp.

DE LEÓN, L., G. CHALAR. Abundancia y diversidad del Fitoplancton en el Embalse de Salto Grande, Argentina-Uruguay. Ciclo Estacional y distribución Espacial. Universidad de la República. Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay. 11 Pp.

GONZÁLEZ, E. *et al.* 2004. Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico en Pao. Cachinche, Venezuela, Abundancia, biomasa y producción primaria. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 11 Pp.

GONZÁLEZ DE INFANTE, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaría General de la OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Universidad Central. Caracas, Venezuela. 130 Pp.

MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 750 - 910 Pp.

MORALES LECHUGA, A. 2004. Composición y abundancia de peces en el Lago de Izabal. Tesis de Grado. Facultad de CC.QQ. y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, C.A.

MORENO, C. 2001. Métodos para medir la Biodiversidad. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED-UNESCO. Zaragoza, España. 86 Pp.

PÉREZ J, OLIVA B. *et al.* 2003. Informe Final Proyecto “Contaminación Físicoquímica y Bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal” Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.

PÉREZ J, OLIVA B. *et al.* 2004. Informe Final Proyecto “Contaminación Fisicoquímica y Bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal” Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. 127 Pp.

PÉREZ, S. *et. al* 2001. Caracterización ecológica de los Biotopos Chocón Machacas, Izabal y Cerro Cahuí, Peten. Informe final. CECON. USAC. Guatemala. 92 Pp.

PONCIANO, I. *et. al.* 1980 Plan Maestro del Biotopo para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”. CECON. Guatemala. 89p.

Protocolos detallados de Monitoreo de Indicadores Biológicos. Programa de Monitoreo de Biodiversidad de Selva. Perú. 47 – 56 Pp.

QUAN, C . MORALES H. 2004. Borrador Final Plan Maestro 2005 – 2009. Parque Nacional Río Dulce. Consejo Nacional de Areas Protegidas -CONAP-. Fondo Nacional para la Conservación -FONACON-

QUEZADA, R. 1991. Cuantificación de las masas de corozo (*Orbignia Cohune* (Mart) Dahlgren), y estudio fenológico bajo condiciones del Biotopo Nacional Chocón Machacas, Livingston, Izabal. Informe Final. Escuela Nacional de Agricultura. Guatemala. 62p.

RAMÍREZ GONZÁLEZ, A. & G. VIÑA VIZCAÏNO. 1998. Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de Análisis. BP Exploration company Ltd. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Panamericana Impresos, S.A. Bogotá, Colombia. 274 Pp.

RAMÍREZ, J. 2000. Fitoplancton de Agua Dulce. Editorial Universidad de Antioquía. 1ª. Edición. Medellín, Colombia. 207 Pp.

REVISTA DE BIOLOGÍA TROPICAL. 1984. Estudio Preliminar sobre el Zooplancton del Lago Bayano en Panamá. Universidad de Costa Rica. Fascículo 1. Vol. 32. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, C.R. 177 Pp.

REYES, E. 2007. Evaluación de la contaminación del pez Blanco (*Petenia splendida*) en tejido muscular y su relación con los niveles de Calidad de Agua del Lago Petén Itzá, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Informe de Tesis. Escuela de Biología. Guatemala, Guatemala. 85 Pp.

REYNOLDS, C. 1999. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Ny, USA. 384 Pp.

ROLDÁN PÉREZ, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529 Pp.

SANT'ANNA, C. et al. 2006. Manual ilustrado para la identificação e contagem de cianobacterias Planctônicas de aguas continentais brasileiras. Editorial Interciência. Río de Janeiro, Brasil. 58 Pp.

SPONSELLER, R. *et al.* 2001. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. Biology Department. Polytechnic Institute y State University, Blacksburg, Virginia, U.S.A. 1409 – 1424 Pp.

TORO, J *et al.* 2003. Diagnostico de la calidad del Agua en sistemas Lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, Río Maipo. Santiago, Chile. 8 Pp.

TORRES, G. et al. 2001. Relación fitoplancton-zooplancton en el pacífico ecuatorial, Ecuador, durante septiembre de 2001. Instituto de la Armada. 11 Pp.

VICENTE, E. et al. 2005. Metodología para el Establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. Confederación Hidrográfica del Ebro. Universidad de Valencia. España. 43 Pp.

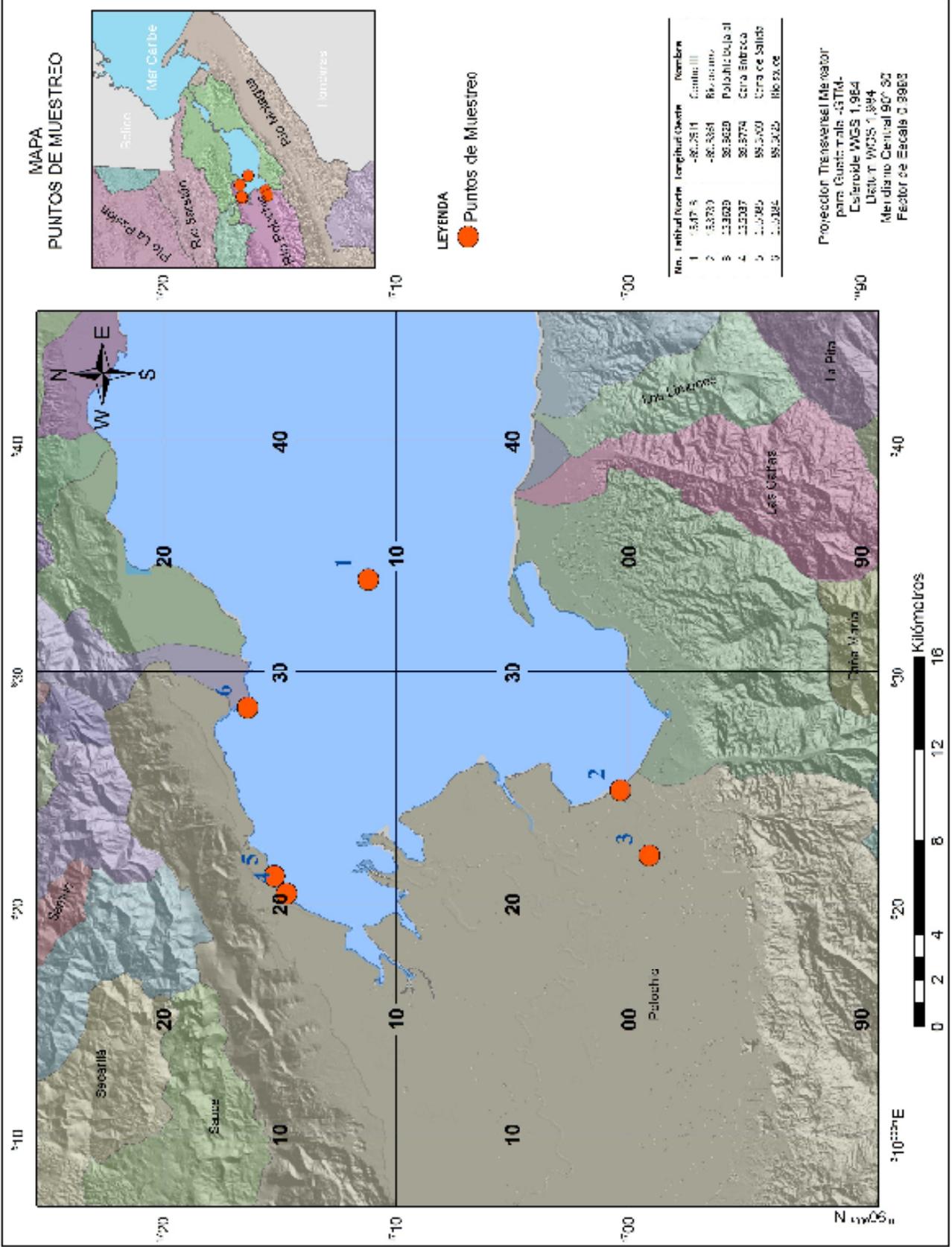
VILLAFANE, V. et al. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 17 Pp.

WETZEL, R. 1995. Limnología. Ediciones Omega, S.A. Michigan State University. Kellogg Biological Station. 185 – 193 Pp.

SANTANDER, E. *et al.* 1997. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del Océano durante 1997 en el norte de Chile. Universidad Arturo Prat. Depto. de Ciencias del Mar. Iquique, Chile. 25 Pp.

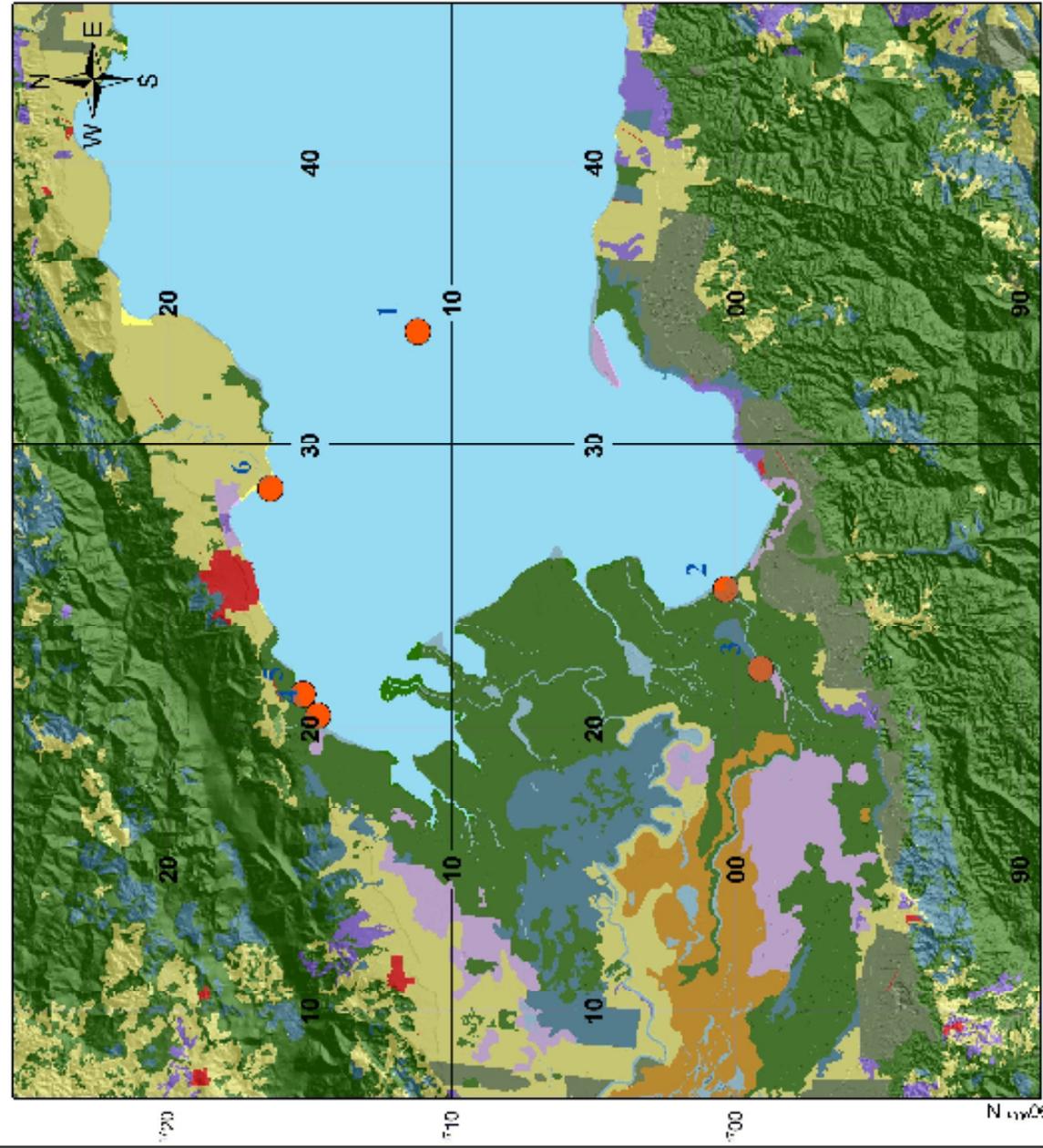
12. ANEXOS

Anexo 1
Mapa de puntos de muestreo



Anexo 2
Mapa de cobertura boscosa

**MAPA
COBERTURA BOSCOZA IZABAL**



- LEYENDA**
- Bosque
 - Uso de la Tierra
 - Infraestructura Anterior
 - Cultivos de maíz, caña
 - Pastoreo
 - Uso de agua
 - Hacia el uso de la tierra
 - Bosques de alta montaña
 - Bosques de montaña
 - Bosques de montaña
 - Bosques de montaña
 - Puntos de Muestreo

Nº	Latitud Norte	Longitud Oeste	Nombre
1	15.475	-86.2511	Comalilla
2	15.3789	-86.3881	Rio Aguayo
3	15.3629	-86.3629	Polahuitzajal
4	15.3337	-86.3774	Cerro Encero
5	15.3389	-86.3409	Cerro de Salido
6	15.3284	-86.3025	Boqueron

Proyeccion Transversal Mercator
para Guatemala -UTM.
Escala WGS 1.984
Datum WGS 1.984
Meridiano Central 90° 50'
Factor de Escala 0.9963



Anexo 3
Norma guatemalteca agua potable
COGUANOR. NGO 29.001.98.

Características físicas y químicas del agua

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/l	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100.000 mg/l	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN ⁻)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

Característica	LMA, en miligramos/litro	LMP, en miligramos / litro
Fluoruro (F)	---	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1

Anexo 4

Resultados géneros de Fitoplancton

Tabla No. 4

Resultados muestreo No. 1. Realizado en Junio 2009

(Número de individuos encontrados en cada sitio de muestreo durante el muestreo 1)
Resultados multiplicados por 10,000

Géneros	PUNTOS DE MUESTREO					
	Centro del Lago	Polochic Bujajal	Entrada CGN	Salida CGN	Río Sauce	Río Oscuro
División Chlorophyta						
<i>Ankestrodesmus</i>			10000			30000
<i>Arthrodesmus</i>						
<i>Botryococcus braunii</i>						
<i>Chlamydomonas</i>						
<i>Chlorella</i>						
<i>Chlorococcum</i>						
<i>Chodatella</i>						
<i>Closterium</i>						
<i>Closterium aciculate</i>						
<i>Closterium parvulum</i>						
<i>Coelastrum sp.</i>						
<i>Coelastrum reticulatum</i>						
<i>Coelastrum sphaericum</i>						
<i>Cosmarium sp. 1</i>						
<i>Cosmarium sp. 2</i>						
<i>Cosmarium sp. 3</i>						
<i>Crucigenia sp. 1</i>						
<i>Crucigenia sp. 2</i>						
<i>Desmidium</i>						
<i>Dictyosphaerium</i>						
<i>Euastrum</i>						
<i>Gonatozygon</i>						
<i>Hydrodictyon</i>						
<i>Kircheneriella</i>						
<i>Lagerheimia sp. 1</i>						

<i>Micractinium</i>						
<i>Micrasterias sp. 1</i>						
<i>Micrasterias sp. 2</i>						
<i>Micrasterias sp. 3</i>						
<i>Microspora</i>						
<i>Oedogonium</i>						
<i>Oocystis sp. 1</i>						
<i>Oocystis sp. 2</i>						
<i>Palmella</i>						
<i>Pediastrum sp. 1</i>						
<i>Pediastrum duplex</i>						
<i>Pediastrum simplex</i>						
<i>Scenedesmus arcuatus</i>						
<i>Scenedesmus bicaudus</i>						
<i>Scenedesmus bijugus</i>						
<i>Scenedesmus quadricauda</i>						
<i>Sphaerocystis</i>						
<i>Spirogyra</i>						
<i>Staurastrum sp. 1</i>						
<i>Staurastrum sp. 2</i>						
<i>Staurastrum sp. 3</i>						
<i>Tetraedron</i>						
<i>Ulothrix</i>						
<i>Volvox</i>						
División Cyanophyta						
<i>Anabaena</i>	10000		30000			
<i>Anacystis</i>	60000	40000	30000	30000	20000	50000
<i>Aphanocapsa sp. 1</i>						
<i>Arthrospira</i>						
<i>Calothrix</i>	10000					
<i>Gomphosphaeria</i>						

<i>Lymnothrix</i>	10000	10000				
<i>Lyngbya</i>				10000	10000	
<i>Merismopedia</i>	10000					
<i>Microcystis aeruginosa</i>	20000					
<i>Nodularia</i>						
<i>Oscillatoria</i>				10000	10000	10000
<i>Phormidium</i>				40000		
<i>Rivularia</i>	10000		30000			
<i>Spirulina</i>						
<i>Trichodesmium</i>						
<i>Worochinia</i>	20000					10000
División Chrysophita						
<i>Achnantes</i>						
<i>Amphiprora</i>						
<i>Asterionella</i>						
<i>Chromullina</i>						
<i>Cocconeis</i>						
<i>Cyclotella</i>						
<i>Cymbella</i>						
<i>Diatomea</i>		10000				
<i>Dinobryon</i>						
<i>Dinobryon sertularia</i>						
<i>Ephitemia</i>						
<i>Fragilaria</i>						
<i>Gomphonema</i>						
<i>Melosira sp. 1</i>						
<i>Melosira granulata</i>						
<i>Melosira sp. 2</i>						
<i>Melosira varians</i>						
<i>Meridion</i>						
<i>Navicula</i>	10000		10000			
<i>Nitzschia</i>						
<i>Pinnularia</i>						
<i>Stauroneis</i>						
<i>Stephanodiscus</i>						
<i>Synedra</i>	10000					10000
<i>Tabellaria</i>		20000	30000			
División Euglenophyta						
<i>Euglena</i>		20000	10000			
<i>Lempociclis</i>						

<i>Trachelomonas</i>	10000	10000				
División Cryophyta						
<i>Cryptomonas</i>						
División Pyrrophyta						
<i>Peridinium sp.</i>						
Otros						
<i>Ulva</i>						
Total de Géneros						
TOTAL						

Tabla No. 5

Resultados muestreo No. 2. Realizado en Agosto 2009

(Número de individuos encontrados en cada sitio de muestreo durante el muestreo 2)
Resultados multiplicados por 10,000

Géneros	PUNTOS DE MUESTREO					
	Centro del Lago	Polochic Bujajal	Entrada CGN	Salida CGN	Río Sauce	Río Oscuro
División Chlorophyta						
<i>Ankestrodesmus</i>						
<i>Arthrodesmus</i>						
<i>Botryococcus braunii</i>						
<i>Chlamydomonas</i>						
<i>Chlorella</i>						
<i>Chlorococcum</i>						
<i>Chodatella</i>						
<i>Closterium</i>						
<i>Closterium aciculate</i>						
<i>Closterium parvulum</i>						
<i>Coelastrum sp.</i>						
<i>Coelastrum reticulatum</i>						
<i>Coelastrum sphaericum</i>						
<i>Cosmarium sp. 1</i>						
<i>Cosmarium sp. 2</i>						
<i>Cosmarium sp. 3</i>						
<i>Crucigenia sp. 1</i>						

<i>Crucigenia sp. 2</i>						
<i>Desmidium</i>						
<i>Dictyosphaerium</i>						
<i>Euastrum</i>						
<i>Gonatozygon</i>						
<i>Hydrodictyon</i>						
<i>Kircheneriella</i>						
<i>Lagerheimia sp. 1</i>						
<i>Micractinium</i>						
<i>Micrasterias sp. 1</i>						
<i>Micrasterias sp. 2</i>						
<i>Micrasterias sp. 3</i>						
<i>Microspora</i>						
<i>Oedogonium</i>						
<i>Oocystis sp. 1</i>						
<i>Oocystis sp. 2</i>						
<i>Palmella</i>						
<i>Pediastrum sp. 1</i>						
<i>Pediastrum duplex</i>						
<i>Pediastrum simplex</i>						
<i>Scenedesmus arcuatus</i>						
<i>Scenedesmus bicaudus</i>						
<i>Scenedesmus bijugus</i>						
<i>Scenedesmus quadricauda</i>						
<i>Sphaerocystis</i>						
<i>Spirogyra</i>						
<i>Staurastrum sp. 1</i>	10000					
<i>Staurastrum sp. 2</i>						
<i>Staurastrum sp. 3</i>						
<i>Tetraedron</i>						
<i>Ulothrix</i>						
<i>Volvox</i>						

División Cyanophyta						
<i>Anabaena</i>						
<i>Anacystis</i>	10000			10000		
<i>Aphanocapsa sp. 1</i>						
<i>Arthrospira</i>						
<i>Calothrix</i>						
<i>Gomphosphaeria</i>						
<i>Lymnothrix</i>						
<i>Lyngbya</i>				10000		
<i>Merismopedia</i>						
<i>Microcystis aeruginosa</i>				30000	30000	30000
<i>Nodularia</i>						
<i>Oscillatoria</i>						
<i>Phormidium</i>						
<i>Rivularia</i>						
<i>Spirulina</i>						
<i>Trichodesmium</i>						
<i>Worochinia</i>		40000				
División Chrysophyta						
<i>Achnantes</i>						
<i>Amphiprora</i>						
<i>Asterionella</i>						
<i>Chromullina</i>						
<i>Cocconeis</i>						
<i>Cyclotella</i>						
<i>Cymbella</i>						
<i>Diatomea</i>						
<i>Dinobryon</i>						
<i>Dinobryon sertularia</i>						
<i>Ephitemia</i>						
<i>Fragilaria</i>						
<i>Gomphonema</i>						
<i>Melosira sp. 1</i>						
<i>Melosira granulata</i>						
<i>Melosira sp. 2</i>						
<i>Melosira varians</i>						
<i>Meridion</i>						
<i>Navicula</i>	10000					
<i>Nitzchia</i>						

<i>Pinnularia</i>						
<i>Stauroneis</i>						
<i>Stephanodiscus</i>						
<i>Synedra</i>						
<i>Tabellaria</i>						
División Euglenophyta						
<i>Euglena</i>						
<i>Lempociclis</i>						
<i>Trachelomonas</i>						
División Cryophyta						
<i>Cryptomonas</i>						
División Pyrrophyta						
<i>Peridinium sp.</i>						
Otros						
<i>Ulva</i>						
Total de Géneros						
TOTAL						

Tabla No. 6
Resultados muestreo No. 3. Realizado en Octubre 2009

(Número de individuos encontrados en cada sitio de muestreo durante el muestreo 3)
Resultados multiplicados por 10,000

Géneros	PUNTOS DE MUESTREO					
	Centro del Lago	Polochic Bujajal	Entrada CGN	Salida CGN	Río Sauce	Río Oscuro
División Chlorophyta						
<i>Ankestrodesmus</i>				50000		
<i>Arthrodesmus</i>						
<i>Botryococcus braunii</i>						
<i>Chlamydomonas</i>						
<i>Chlorella</i>						
<i>Chlorococcum</i>						
<i>Chodatella</i>						
<i>Closterium</i>						
<i>Closterium aciculate</i>						
<i>Closterium</i>			20000			

<i>parvulum</i>						
<i>Coelastrum sp.</i>						
<i>Coelastrum reticulatum</i>						
<i>Coelastrum sphaericum</i>						
<i>Cosmariun sp. 1</i>						
<i>Cosmariun sp. 2</i>						
<i>Cosmariun sp. 3</i>						
<i>Crucigenia sp. 1</i>						
<i>Crucigenia sp. 2</i>						
<i>Desmidium</i>						
<i>Dictyosphaerium</i>						
<i>Euastrum</i>						
<i>Gonatozygon</i>						
<i>Hydrodictyon</i>						
<i>Kircheneriella</i>						
<i>Lagerheimia sp. 1</i>						
<i>Micractinium</i>						
<i>Micrasterias sp. 1</i>						
<i>Micrasterias sp. 2</i>						
<i>Micrasterias sp. 3</i>						
<i>Microspora</i>						
<i>Oedogonium</i>						
<i>Oocystis sp. 1</i>						
<i>Oocystis sp. 2</i>						
<i>Palmella</i>						
<i>Pediastrum sp. 1</i>						
<i>Pediastrum duplex</i>						
<i>Pediastrum simplex</i>						
<i>Scenedesmus arcuatus</i>						
<i>Scenedesmus bicaudus</i>						
<i>Scenedesmus bijugus</i>						
<i>Scenedesmus quadricauda</i>						
<i>Sphaerocystis</i>						

<i>Spirogyra</i>					10000	
<i>Staurastrum sp. 1</i>						
<i>Staurastrum sp. 2</i>						
<i>Staurastrum sp. 3</i>						
<i>Tetraedron</i>						
<i>Ulothrix</i>			60000			
<i>Volvox</i>						
División Cyanophyta						
<i>Anabaena</i>						
<i>Anacystis</i>						
<i>Aphanocapsa sp. 1</i>						
<i>Arthrospira</i>						
<i>Calothrix</i>						
<i>Gomphosphaeria</i>						
<i>Lymnothrix</i>						
<i>Lyngbya</i>					10000	
<i>Merismopedia</i>						
<i>Microcystis aeruginosa</i>				20000	20000	10000
<i>Nodularia</i>						
<i>Oscillatoria</i>				20000		10000
<i>Phormidium</i>						
<i>Rivularia</i>						
<i>Spirulina</i>						
<i>Trichodesmium</i>						
<i>Worochinia</i>						
División Chrysophita						
<i>Achnantes</i>						
<i>Amphiprora</i>						
<i>Asterionella</i>						
<i>Chromullina</i>						
<i>Cocconeis</i>						
<i>Cyclotella</i>						
<i>Cymbella</i>						
<i>Diatomea</i>						
<i>Dinobryon</i>						
<i>Dinobryon sertularia</i>						
<i>Ephitemia</i>						

<i>Fragilaria</i>	20000		50000	30000		
<i>Gomphonema</i>						
<i>Melosira sp. 1</i>						
<i>Melosira granulata</i>						
<i>Melosira sp. 2</i>						
<i>Melosira varians</i>						
<i>Meridion</i>						
<i>Navicula</i>	10000					
<i>Nitzschia</i>						
<i>Pinnularia</i>						
<i>Stauroneis</i>						
<i>Stephanodiscus</i>						
<i>Synedra</i>						
<i>Tabellaria</i>						
División Euglenophyta						
<i>Euglena</i>						
<i>Lempociclis</i>						
<i>Trachelomonas</i>	20000					
División Cryophyta						
<i>Cryptomonas</i>						
División Pyrrophyta						
<i>Peridinium sp.</i>						
Otros						
<i>Ulva</i>						
Total de Géneros						
TOTAL						

Tabla No. 7

Resultados muestreo No. 4. Realizado en Diciembre 2009

(Número de individuos encontrados en cada sitio de muestreo durante el muestreo 4)
Resultados multiplicados por 10,000

<i>Géneros</i>	PUNTOS DE MUESTREO					
	Centro del Lago	Polochic Bujajal	Entrada CGN	Salida CGN	Río Sauce	Río Oscuro
División Chlorophyta						
<i>Ankestrodesmus</i>			20000	10000		
<i>Arthrodesmus</i>						

<i>Botryococcus braunii</i>						
<i>Chlamydomonas</i>						
<i>Chlorella</i>						
<i>Chlorococcum</i>						
<i>Chodatella</i>						
<i>Closterium</i>		30000	30000			
<i>Closterium aciculate</i>						
<i>Closterium parvulum</i>	30000			10000		40000
<i>Coelastrum sp.</i>						
<i>Coelastrum reticulatum</i>						
<i>Coelastrum sphaericum</i>						
<i>Cosmarium sp. 1</i>						
<i>Cosmarium sp. 2</i>						
<i>Cosmarium sp. 3</i>						
<i>Crucigenia sp. 1</i>						
<i>Crucigenia sp. 2</i>						
<i>Desmidium</i>						
<i>Dictyosphaerium</i>						
<i>Euastrum</i>						
<i>Gonatozygon</i>						
<i>Hydrodictyon</i>						
<i>Kirchneriella</i>						
<i>Lagerheimia sp. 1</i>						
<i>Micractinium</i>						
<i>Micrasterias sp. 1</i>						
<i>Micrasterias sp. 2</i>						
<i>Micrasterias sp. 3</i>						
<i>Microspora</i>						
<i>Oedogonium</i>						
<i>Oocystis sp. 1</i>						
<i>Oocystis sp. 2</i>						
<i>Palmella</i>						
<i>Pediastrum sp. 1</i>				30000		
<i>Pediastrum duplex</i>						
<i>Pediastrum</i>					10000	

<i>simplex</i>						
<i>Scenedesmus arcuatus</i>						
<i>Scenedesmus bicaudus</i>				10000		
<i>Scenedesmus bijugus</i>						
<i>Scenedesmus quadricauda</i>						
<i>Sphaerocystis</i>						
<i>Spirogyra</i>						
<i>Staurastrum sp. 1</i>					10000	
<i>Staurastrum sp. 2</i>						
<i>Staurastrum sp. 3</i>						
<i>Tetraedron</i>						
<i>Ulothrix</i>						
<i>Volvox</i>						
División Cyanophyta						
<i>Anabaena</i>						
<i>Anacystis</i>				10000		
<i>Aphanocapsa sp. 1</i>						
<i>Arthrospira</i>						
<i>Calothrix</i>						
<i>Gomphosphaeria</i>						
<i>Lymnothrix</i>						
<i>Lyngbya</i>						
<i>Merismopedia</i>						
<i>Microcystis aeruginosa</i>				20000		40000
<i>Nodularia</i>						
<i>Oscillatoria</i>	60000		10000			40000
<i>Phormidium</i>						
<i>Rivularia</i>						
<i>Spirulina</i>						
<i>Trichodesmium</i>						
<i>Worochinia</i>						
División Chrysophyta						
<i>Achnantes</i>						
<i>Amphiprora</i>						

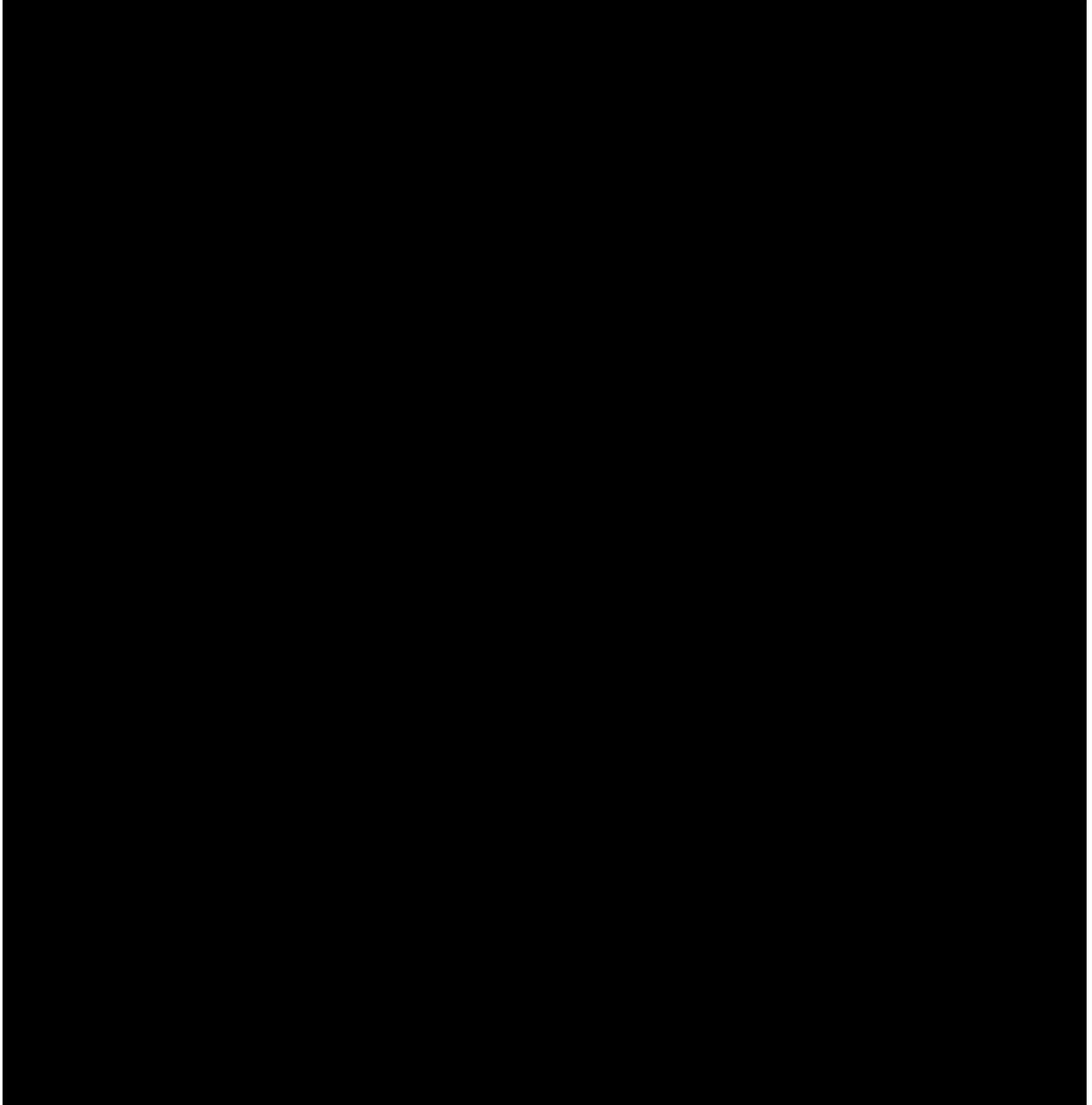
<i>Asterionella</i>						
<i>Chromullina</i>						
<i>Cocconeis</i>						
<i>Cyclotella</i>						
<i>Cymbella</i>						
<i>Diatomea</i>						
<i>Dinobryon</i>						
<i>Dinobryon sertularia</i>						
<i>Ephitemia</i>						
<i>Fragilaria</i>		10000				
<i>Gomphonema</i>				10000		
<i>Melosira sp. 1</i>						
<i>Melosira granulata</i>						
<i>Melosira sp. 2</i>						
<i>Melosira varians</i>						
<i>Meridion</i>						
<i>Navicula</i>		20000				
<i>Nitzschia</i>	10000					20000
<i>Pinnularia</i>						10000
<i>Stauroneis</i>						
<i>Stephanodiscus</i>						
<i>Synedra</i>						30000
<i>Tabellaria</i>						
División Euglenophyta						
<i>Euglena</i>	40000	30000	10000		10000	60000
<i>Lempociclis</i>						
<i>Trachelomonas</i>						
División Cryophyta						
<i>Cryptomonas</i>						
División Pyrrophyta						
<i>Peridinum sp.</i>						
Otros						
<i>Ulva</i>						
Total de Géneros						
TOTAL						

Anexo 5

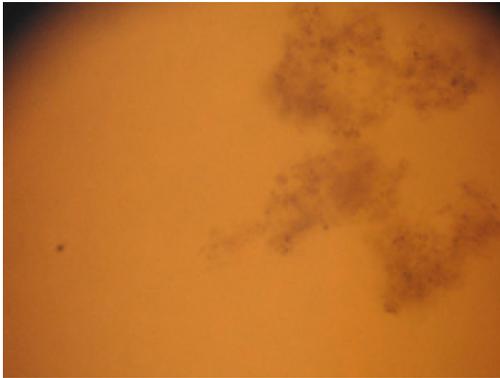
Resultados Análisis de Correspondencia

Tabla No. 8

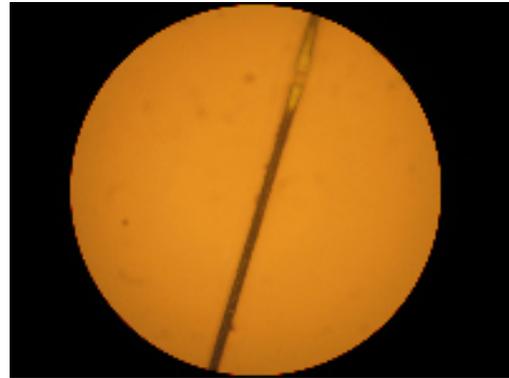
Análisis de Correspondencia (CA por sus siglas en inglés)



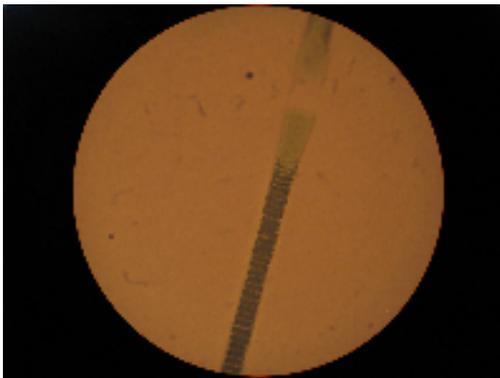
FOTOGRAFÍAS DE GÉNEROS DE FITOPLANCTON IDENTIFICADOS



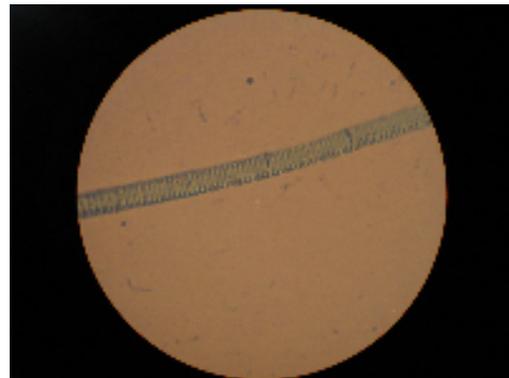
Microcystis aeruginosa



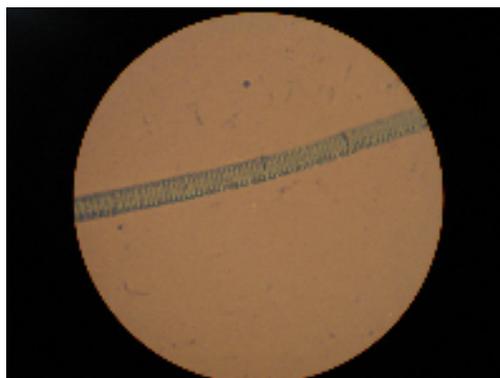
Lyngbya sp.



Lyngbya sp.



Oscillatoria sp.



Phormidium sp.



Ankestrodesmus sp.



Navicula sp.



Phormidium sp.