

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL

PROYECTO  
“CONTAMINACION FISICOQUIMICA Y  
BACTERIOLOGICA DEL RIO DULCE Y LAGO DE  
IZABAL”

Equipo de investigación:

M.Sc. Juan Francisco Pérez Sabino, Coordinador  
Licda. Bessie Evelyn Oliva de Sandoval, Investigadora  
M.Sc. Karin Larissa Herrera Aguilar, Investigadora  
M.A. Silvia Echeverría Barillas, Investigadora  
Br. Héctor Bol Mendoza, Auxiliar de Investigación II  
Br. Claudia María Galindo, Auxiliar de Investigación II  
Br. Karina Piérola Kyllmann, Auxiliar de Investigación II

Guatemala, enero-diciembre 2003.

Unidad Académica Avaladora:

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

## INDICE

<b>Título</b>	<b>página</b>
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
1. INTRODUCCION.....	3
2. ANTECEDENTES.....	5
3. JUSTIFICACION.....	9
4. OBJETIVOS.....	11
5. REFERENTE TEORICO.....	12
6. METODOLOGIA.....	19
7. RESULTADOS.....	24
7.1 Resultados de análisis bacteriológicos.....	24
7.2 Fitoplancton.....	32
7.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos.....	55
8. DISCUSION DE RESULTADOS.....	82
8.1 Análisis bacteriológicos.....	82
8.2 Fitoplancton.....	84
8.3 Análisis fisicoquímicos.....	87
9. CONCLUSIONES.....	93
10. RECOMENDACIONES.....	96
11. BIBLIOGRAFIA.....	97
12. ANEXOS.....	100
12.1 Ubicación de sitios de muestreo.....	100
12.2 Análisis estadístico.....	102
12.3 Gráficas.....	107

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente informe se presenta la información generada a partir de análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de fitoplancton, estableciéndose la situación de la contaminación química y bacteriológica del agua en la parte oriental del lago de Izabal y en Río Dulce, en el departamento de Izabal.

La investigación se realizó a partir de la toma de muestras de agua y sedimentos, habiéndose determinado los niveles de nutrientes y varios de los contaminantes químicos más importantes para definir la calidad del agua, en la parte oriental del lago de Izabal y en Río Dulce. Cuatro campañas de muestreo se realizaron a lo largo de 2003, durante los meses de febrero, mayo, agosto y octubre, habiéndose seleccionado diecisiete sitios de muestreo a partir de las principales fuentes de contaminación esperadas en los ecosistemas en la región y a zonas de interés especial para la conservación.

Los análisis químicos realizados se clasifican en: a) los niveles de nutrientes (especies de nitrógeno, fósforo y silicatos), los cuales pueden verse afectados por las actividades domésticas del ser humano; y b) de los niveles de los principales contaminantes provenientes de las actividades de exploración y transporte de petróleo, así como de la explotación minera, como hidrocarburos y metales, respectivamente, los cuales pueden repercutir negativamente en la vida acuática de la cuenca del lago de Izabal y río Dulce. Se realizaron además análisis bacteriológicos y de fitoplancton, para evaluar su uso como indicador de la contaminación acuática. A partir de los resultados, se determinó que el lago de Izabal se encuentra en un estado eutrófico, presentando altos niveles de contaminación por nutrientes de fósforo y nitrógeno, provenientes de los principales afluentes y de zonas pobladas en sus márgenes. El estado eutrófico se confirma por la presencia de organismos de fitoplancton indicadores de procesos de eutrofización en cuerpos de agua dulce. Se determinó que la contaminación en el lago de Izabal afecta negativamente la calidad del agua del Río Dulce, al no existir un proceso de depuración en la trayectoria del lago al río.

Por otra parte, se encontraron altos niveles de contaminación bacteriológica principalmente en el Río Dulce y sus afluentes. Se investigaron las variaciones estacionales en los niveles de los contaminantes, habiéndose determinado que en general las concentraciones de los mismos se incrementan conforme se inicia la época de lluvias. Por último, se presentan recomendaciones para ser utilizadas por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, la cual tiene a su cargo la administración del Biotopo Chocón Machacas, así como por la Autoridad para el Manejo Sustentable del Río Dulce y Lago de Izabal (AMASURLI).

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental y en el Departamento de Análisis Inorgánico, mientras que los análisis bacteriológicos y de fitoplancton se realizaron en el Laboratorio Microbiológico de Referencia.

## 1. INTRODUCCION

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 y 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.

En tal sentido el proyecto fue planteado con el propósito de determinar la situación de la contaminación del agua en el lago de Izabal y el río Dulce. El lago de Izabal es el lago de mayor extensión en Guatemala, con 718 km<sup>2</sup> de extensión, y desemboca a través del Río Dulce.

En la primera fase del proyecto se ha establecido la contaminación del lago de Izabal y Río Dulce por nutrientes y bacterias, en niveles que constituyen un riesgo importante para la integridad biológica de los cuerpos de agua así como para la salud humana.

La determinación de los niveles de nutrientes y contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos es necesaria para la evaluación de las medidas de mitigación adoptadas por la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Izabal (AMASURLI) debido principalmente al crecimiento de la planta exótica *Hydrilla verticillata*, así como para la planificación de la cuenca.

Los resultados obtenidos en la primera fase del proyecto indican por una parte que el lago de Izabal se encuentra en un estado de eutrofización, al observarse niveles elevados de nutrientes de fósforo y nitrógeno, además de la presencia de organismos de fitoplancton indicadores de dicho estado trófico. Por otra parte, se encontraron niveles muy elevados de contaminación fisicoquímica y bacteriológica que indican el grado de deterioro de la cuenca, motivada por la deforestación, las malas prácticas agrícolas y la descarga de aguas residuales al lago de Izabal y Río Dulce. Se determinó que los afluentes del lago y del río Dulce son las principales fuentes de contaminación, al encontrarse diferencias significativas sobre todo en los niveles de nitrógeno, que resultaron mucho mayores en los afluentes. Asimismo, las poblaciones y los afluentes son los sitios que presentaron los niveles más altos de contaminación bacteriológica.

Lo anterior indica que es necesario el inicio de una planificación de la cuenca de mayor alcance que incluya el tratamiento de aguas residuales, la capacitación de los agricultores y la educación ambiental, con el fin de reducir la carga de contaminación y conservar una buena calidad del agua en el Lago de Izabal y Río Dulce, en lo cual deben estar involucrados los investigadores, la Autoridad para el Manejo Sustentable del Río Dulce y Lago de Izabal y las municipalidades de la cuenca.

## 2. ANTECEDENTES.

### 2.1 Descripción del área de estudio

El lago de Izabal cuenta con una extensión de 718 km<sup>2</sup> y se localiza entre las coordenadas 15°24'N a 15°38'N y 88°58'W a 89°24' W, a una altitud promedio de 0.8 msnm (Machorro, 1996) y con una profundidad media de 11.9 m, es el mayor lago de Guatemala. Su principal afluente es el río Polochic que aporta un 70% de sus aguas (Basterrechea, 1993), encontrándose en su desembocadura los humedales de Bocas del Polochic, los cuales cumplen la función de sistema de filtración para la contaminación, reduciéndose los niveles de contaminantes hasta en un 60% (Perez, 2003).

Río Dulce fue declarado Parque Nacional por Acuerdo Gubernativo del 26 de mayo de 1955 y delimitado por acuerdo ministerial del 23 de agosto de 1968, siendo su extensión de aproximadamente 7,200 ha, sin incluir el cuerpo de agua. El río se encuentra en el municipio de Livingston, departamento de Izabal. Constituye el drenaje natural del Lago de Izabal hacia el mar Caribe.

### 2.2 Importancia socioeconómica

La tasa de crecimiento de la población en la cuenca del río Dulce es del 4.2 %, mientras que el promedio en el país es de 2.3 %. Debido a la expansión desordenada de asentamientos humanos caracterizados por condiciones de pobreza, por falta de oportunidades y la falta de servicios básicos de saneamiento en la región, se descargan millones de metros cúbicos anuales de aguas negras al Río Dulce contaminando sus aguas (Mejía, 1997)

Las principales actividades socioeconómicas en la región de estudio: agricultura, turismo, pesca, transporte, construcción, ganadería, provocan el deterioro del ecosistema, ya que no existe un plan de manejo que permita la planificación de la cuenca (Mejía, 1997).

Las causas del creciente e indetenible proceso destructivo de Río Dulce son: El corte de especies vegetales que cubren tierras inundables, tierras pantanosas, la extracción de flora y fauna, la cacería furtiva o sistemática, la pesca durante época de veda, la

deforestación, la construcción de casas y edificios, en especial de albergues recreativos en las riberas del río; la expansión de asentamientos humanos, la proliferación de actividades industriales, la frecuencia de cultivos intensivos y extensivos, las deposiciones humanas y la eliminación de sustancias tóxicas. La deforestación en los alrededores del parque ha conducido a la sedimentación de los ríos de la vertiente noroeste del Cerro San Gil y del noreste de la sierra Santa Cruz, los cuales desembocan en el Río Dulce (Mejía, 1997)

Desde la década de los 70 se han realizado estudios que demuestran la contaminación de las aguas y los sedimentos del lago de Izabal (Machorro, 1996). Uno de los más recientes, es el realizado por M. Basterrechea en el período 1991-1992 (Basterrechea, 1993), quién realizó un estudio que comprendió la determinación de 49 parámetros físicos, químicos, bioquímicos y bacteriológicos en 22 estaciones. El estudio consistió en la determinación mensual de los parámetros seleccionados, por un año, estableciéndose así una línea base para la calidad del agua del Lago de Izabal.

Un enriquecimiento del lago por los nutrientes inorgánicos como el amoníaco, los nitratos y el fósforo, debido a cargas orgánicas excesivas, puede ocasionar un deterioro de la calidad del agua, siendo conocido este proceso de sobreproducción como eutroficación (Payne, 1986). M. Basterrechea, en el estudio citado anteriormente, concluye que los principales afluentes del Lago de Izabal, están provocando cambios indeseables en el mismo, a través de la carga de material orgánico e inorgánico que son lavados de la cuenca. Así, se verificó que existe el proceso de eutroficación en el lago, al ocurrir florecimientos algales de cianofitas y diatomeas.

En 1998 se llevó a cabo un estudio sobre el Impacto de la Calidad del Agua en la cuenca del río Polochic sobre la Integridad Biológica del lago de Izabal. En este estudio se consideraron 6 puntos de muestreo ubicados en la región occidental del lago (El Estor, Bocas de Cobán, Bocas de Bujajal, Río Oscuro, Centro del Lago y Punta Chapín). Además, en la cuenca se muestrearon 9 puntos (Papaljá, Pueblo Viejo, Tinajas, Jolomjix, Polochic en Telemán, Polochic en Panzós, Boca Nueva y Cahabón). Se evaluaron parámetros químicos y biológicos.



En dicho estudio se verificó la importancia del humedal ubicado en Bocas del Polochic como una barrera filtradora de las aguas que van del Río Polochic hacia el lago de Izabal, ya que se encontró los niveles de nutrientes (N y P) en el agua, disminuyen en el lago.

En 1997, ASINDEGUA efectuó un estudio sobre la calidad del agua en el río Dulce, en el cual seleccionaron 29 puntos de muestreo a lo largo del río. En dicho estudio determinaron principalmente contaminación microbiológica y por materia orgánica, y en algunos puntos por grasas y aceites. Se concluyó que la principal fuente de contaminación era la descarga de aguas servidas, en vista que los niveles de coliformes totales y fecales eran demasiado elevados, encontrándose valores superiores a los 2,400 Unidades Formadoras de Colonias por 100 mL (ASINDEGUA, 1997).

### 2.3 Areas protegidas ubicadas en la región de estudio

Existen varias áreas protegidas en la región de influencia del río Dulce y parte oriental del lago de Izabal, las cuales se ven afectadas por las alteraciones en la calidad del agua de dichos ecosistemas. Dichas áreas, son las siguientes:

a) Parque Nacional Río Dulce, el cual hasta 1990 estaba constituido por 29 comunidades con aproximadamente 7,523 habitantes. Los poblados ocupan unos 16 kilómetros cuadrados. De 45 a 55 % de la población vive de la pesca, el resto son asalariados en agricultura, construcción, comercio y turismo.

Se cultiva banano, plátano, mango, zapote, jocote, marañón, cítricos, guanaba y caña de azúcar. Se utiliza el método de cultivo de tumba y quema, además se utiliza frijol terciopelo para nitrificar el suelo. La ganadería se da en zonas privadas, ocupando un área de aproximadamente 15 kilómetros cuadrados. La deforestación es grande y asciende a 800 ha anuales.

Amenazas: hay invasión de terrenos en la zona oeste del río. Existen estaciones de almacenaje de combustible, situadas en la ribera del río Crique Chino, en la desembocadura del río Dulce. Además, hay un oleoducto subterráneo a la altura del río San Vicente. Hay una alta tasa de deforestación lo cual ha contribuido a la desaparición de las iguanas (Barrios, 1995).

b) Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil: comprende la parte más alta de las montañas del Mico en Izabal. Para 1987, había 17 comunidades formalmente establecidas. En esta área se siembra mayormente milpa y la cantidad de actividades ganaderas es significativa. Puntos turísticos de influencia son Punta de Palma, Las Cascadas y Las Escobas. Se extrae madera del área (caoba, cedro, Santa María, etc.).

Amenazas: la deforestación es masiva y las tierras del estado están siendo velozmente colonizadas (Barrios, 1995)

c) Biotopo Chocón Machacas: Se encuentra en la ribera del río Chocón en el margen norte del Golfete, jurisdicción del municipio de Livingston, departamento de Izabal. Existen cuatro comunidades kekchíes dentro de los límites del Biotopo con una población aproximada de 200 personas. Si se agrega la población que habita en el área de influencia, la población total de la región asciende a los 1,500 habitantes. Hay actividades de agricultura, cultivándose principalmente cacao, arroz, hule, café, piña y maíz. También existen porciones de bosque de hoja ancha que están siendo degradados rápidamente por la demanda de leña.

Amenazas: deforestación e invasión ilegal de tierras (Barrios, 1995).

### 3. JUSTIFICACION

Varios estudios de la calidad del agua se han realizado en el lago de Izabal y algunos en el río Dulce. El más completo fue realizado por Basterrechea en 1992-1993 como parte de la Caracterización previa a actividades de exploración petrolera. El último estudio serio de lago fue efectuado por un equipo de la Universidad del Valle en 1998, el cual se concentró en la parte occidental del lago. Sin embargo, a pesar de que se encontraron en dichos estudios niveles de contaminación importantes, no se ha establecido un programa formal de monitoreo de la contaminación y se ha descuidado la evaluación de la parte oriental del lago y el río Dulce.

Las causas de la contaminación son principalmente las actividades domésticas de las poblaciones humanas, el transporte de hidrocarburos por el río Dulce y la explotación minera en la cuenca. Por la importancia que el lago de Izabal y el río Dulce presentan debido a su gran diversidad biológica y recursos naturales, que representan el desarrollo de la región, tanto por el uso y explotación de los recursos como por su atractivo turístico, es necesario realizar una investigación científica a profundidad y con tecnología apropiada que permita verificar la situación actual de la calidad del agua y generar información relevante para la conservación de la cuenca.

En vista de que las principales alteraciones en el ecosistema acuático, debidas a las actividades anteriormente mencionadas, consisten en un incremento en las concentraciones de nutrientes, en la contaminación por hidrocarburos y metales tóxicos, y en la contaminación bacteriológica, el proyecto se deberá concentrar el primer año en mediciones periódicas de dichos parámetros. Los incrementos de niveles de nutrientes provocan una aceleración en los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, conduciéndolos a su muerte. En cuanto a los hidrocarburos y los metales tóxicos, éstos provocan enfermedades y la muerte de los organismos en los cuerpos de agua así como alteraciones genéticas, dependiendo de los niveles de concentración en que se encuentren. Ya que en la cuenca del lago de Izabal y Río Dulce, el equilibrio ecológico depende del agua, es de suma importancia conocer la calidad de la misma, así como sus tendencias y fuentes de contaminación para tomar decisiones que permitan la conservación de los recursos naturales y su uso sostenible.

En fases posteriores deberán ampliarse los análisis para la determinación de niveles de plaguicidas, así como para analizar la acumulación de los diferentes contaminantes en los organismos acuáticos propios de las lagunas y ríos del parque.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Establecer la situación actual de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del lago de Izabal y del Río Dulce.

### **4.2 Específicos:**

- 4.2.1 Determinar los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en muestras de agua del lago de Izabal y del río, en cuatro meses del año 2003.
- 4.2.3 Determinar los niveles de metales plomo, zinc, cobre y níquel, en muestras de agua, de la parte oriental del lago de Izabal y en el Río Dulce, en cuatro meses diferentes a lo largo del año 2003.
- 4.2.4 Determinar los niveles de nutrientes y sus variaciones estacionales, en muestras de la parte oriental del lago de Izabal y en el río Dulce, en cuatro meses del año 2003.
- 4.2.5 Determinar los niveles de temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, en la parte oriental del lago de Izabal y en el río, y sus variaciones estacionales en los muestreos a realizar en cuatro meses del año 2003.
- 4.2.6 Determinar los niveles de contaminación bacteriológica en el lago de Izabal y Río Dulce, en cuatro meses de 2003.
- 4.2.7 Establecer relaciones entre las poblaciones de fitoplancton y los niveles de contaminación en el lago de Izabal y río Dulce.
- 4.2.8 Identificar las principales fuentes de contaminación de la parte oriental del lago de Izabal y del río Dulce.

## 5. REFERENTE TEORICO

### 5.1 Contaminación de cuerpos de agua y efectos sobre los organismos vivos

Los nutrientes se ven alterados, debido a las descargas de aguas domésticas, al uso de fertilizantes, a la ganadería, y otras actividades humanas. Al incrementarse la concentración de éstos, se ven acelerados los procesos de eutroficación en los lagos, al darse un crecimiento exagerado en las poblaciones de algas. Al reducirse los niveles de oxígeno y la transparencia en el agua, se ven limitadas las condiciones propicias para las especies acuáticas.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), son producidos por la combustión incompleta de los hidrocarburos, por lo que son liberados por los motores de combustión interna. Estos compuestos son absorbidos por el material particulado por lo que finalmente terminan en los sedimentos donde contaminan la fauna e ingresan a la cadena alimenticia. Estos compuestos producen anomalías genéticas en los organismos, por lo que debe vigilarse los niveles de contaminación por los mismos en los cuerpos de agua, ya que aunque el agua no sea consumida directamente, al ser absorbidos por los peces, pueden llegar finalmente al ser humano o animales domésticos.

Los metales pesados son extraídos de las profundidades de la tierra durante los procesos de extracción petrolera, y quedan al descubierto en las zonas de explotación minera, por lo que posteriormente son concentrados en los suelos y llegan a los cuerpos de agua arrastrados por el agua de escorrentía. Las actividades industriales y la mala disposición de desechos provocan también la contaminación de cuerpos de agua por metales tóxicos, los cuales presentan alta toxicidad aún a concentraciones de traza (partes por billón, es decir, microgramos por litro). Metales como el plomo, cadmio, mercurio y arsénico presentan una elevada toxicidad en los organismos, e ingresan con facilidad a la cadena alimenticia, por lo que sus niveles de concentración deben ser vigilados en los cuerpos de agua.

En cuanto a la pérdida de cobertura vegetal, ésta acelera los procesos de erosión, provocando una mayor carga de sólidos en los cuerpos de agua que aceleran el proceso de asolvamiento y disminuyen los procesos fotosintéticos al disminuirse la profundidad de alcance de la luz, provocando alteraciones en el equilibrio ecológico.

## **5.2 Técnicas analíticas**

### **5.2.1 Físicoquímicos**

#### **Cromatografía de gases:**

Esta técnica de mucha utilidad para el análisis de compuestos de relativa volatilidad y estables a temperatura altas, se basa en el principio de la repartición de los analitos entre dos fases. La muestra es inicialmente inyectada a una cámara, donde debido a la alta temperatura es vaporizada e introducida a una columna cromatográfica, la cual tiene una recubierta interna de algún material que va a presentar diferencias en la afinidad por los compuestos que estén presentes en la muestra, según la polaridad, tamaño y grupos funcionales presentes en cada molécula. Los compuestos vaporizados son arrastrados por un gas, que es la fase móvil, de tal manera que los compuestos más ligeros son eluidos con mayor rapidez, así como los que tienen menor afinidad por la fase estacionaria. La columna se encuentra colocada en un horno, al cual se le puede programar la temperatura de modo que la misma tenga incrementos para acelerar la vaporización de los compuestos según su punto de ebullición. Al ir eluyendo los compuestos, éstos llegan al área del detector, el cual emite una señal eléctrica proporcional a la cantidad de compuesto que lo atraviesa. De esta forma, la cromatografía de gases sirve para dos propósitos: a) el análisis cualitativo, ya que es posible identificar los compuestos de acuerdo a su tiempo de retención, al compararlo contra estándares; b) análisis cuantitativo, ya que la señal del detector será proporcional a la cantidad de analito presente, por lo que por medio de curvas de calibración utilizando estándares en diferentes concentraciones conocidas, puede cuantificarse la cantidad de analito presente en una muestra.

#### **Espectrofotometría ultravioleta-visible**

El análisis cuantitativo de compuestos que presentan transiciones electrónicas entre orbitales moleculares, es posible por medio de la espectrofotometría ultravioleta visible, ya que al incidir un haz con una longitud de onda entre 270 nm a 900nm, los electrones de dichos orbitales van a absorber radiación y van a trasladarse a un orbital de un nivel energético mayor. Dependiendo del cromóforo, variará la longitud de onda exacta a la cual se presentará el pico de absorción. Al medir la diferencia entre la intensidad del haz sin atravesar la muestra y atravesando la misma, se puede medir la absorbancia y de acuerdo con la ley de Beer, relacionarla con la concentración del compuesto de interés, si

previamente se ha obtenido una curva de absorbancia contra concentración utilizando estándares de concentración conocida y realizando las mediciones en la misma longitud de onda. Esta técnica es útil para el análisis de compuestos como nitratos, fosfatos, etc. los cuales forman productos coloreados al hacerlos reaccionar con reactivos específicos.

### **Espectrofotometría de absorción atómica.**

Esta técnica es útil para el análisis cuantitativo de metales en soluciones. El principio en que se basa es el de la cuantización de la energía a nivel electrónico, ya que al incidir un haz de radiación con la longitud de onda apropiada, sobre un electrón, éste se excitará y sufrirá una transición hacia un nivel de mayor energía. En un elemento, cada transición tiene una energía característica, por lo que en una muestra, al producir un haz de radiación con una longitud de onda característica de una transición electrónica de cierto elemento, el haz sufrirá una disminución en su intensidad al atravesar la muestra, como producto de la absorción por los átomos del elemento en cuestión. De esta forma, puede relacionarse la absorbancia con la concentración, al realizar curvas de calibración con los elementos de interés en diferentes concentraciones. Para poder analizar las muestras, es necesario que los elementos presentes sean inicialmente vaporizados y luego atomizados, utilizando llamas de altas temperaturas. Sin embargo, esta técnica no es apropiada para el análisis de metales tóxicos, debido a que su límite de detección es generalmente de 1 parte por millón, mientras que algunos metales, como el plomo y el cadmio, son tóxicos a concentraciones menores a 0.1 partes por millón, por lo que si están presentes en concentraciones de ese tipo, no van a ser detectados por esta técnica.

## **INFORMACION SOBRE LOS PARAMETROS QUIMICOS EVALUADOS**

### **Nitrógeno total**

El nitrógeno total está constituido por el nitrógeno que forma parte de los compuestos presentes en una muestra y que puede ser determinado como tal. La diferencia entre el nitrógeno total y el nitrógeno de especies inorgánicas constituye el nitrógeno orgánico, el cual representa una reserva para la conversión a formas más asequibles para la cadena trófica y por lo mismo, para los procesos de eutroficación de cuerpos de agua. El N orgánico no contemplado en amoníaco puede convertirse a amoníaco por las bacterias saprofitas, siendo entonces una fuente energética para bacterias autótrofas (nitrificantes) que lo transforman en iones nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) las cuales requieren cantidades



de oxígeno del orden de 4.5 veces más de la concentración que requiere el amoníaco, por lo que sus efectos sobre el oxígeno disuelto pueden aparecer más tarde, siendo por lo tanto su detección de interés en los planes de saneamiento. (Colegio de Ingenieros, 1995)

### **Fósforo total**

El fósforo total es la suma del fósforo contenido en todas las especies presentes en una muestra. 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 ortofosfato, el cual se considera como uno de los principales nutrientes en el agua y por lo tanto, causante de eutroficación en cuerpos de agua cuando se encuentra en cantidades grandes. El fósforo en sus diferentes formas produce un incremento del crecimiento de las algas, ya que es un elemento esencial para crecimiento de plantas y organismos. Normalmente se encuentra en cantidades limitadas, y por ser un factor limitante para el crecimiento, es un elemento clave en la mayoría de los procesos de eutroficación. (Colegio de Ingenieros, 1995)

### **Nitrógeno de amonio**

Constituido por el nitrógeno que forma el ión amonio y el amoníaco, existe en la naturaleza como producto de procesos metabólicos, agrícolas e industriales (OMS, 1995). La concentración en aguas naturales superficiales se encuentra generalmente por debajo de 0.2 mg/l. El amoníaco es considerado como un indicador de la contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. Aunque sus efectos toxicológicos se observan solamente en exposiciones mayores a 200 mg/Kg de peso corporal, su presencia puede originar la formación de nitritos y ocasionar problemas de sabor y de olor en el agua (OMS, 1995).

### **Nitrógeno de nitrato y nitrógeno de nitrito**

Las concentraciones de nitratos en aguas naturales son normalmente de unos pocos miligramos por litro, observándose en algunos lugares incrementos debido a las prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. En cuanto al nitrógeno de nitritos, la OMS ha propuesto un valor guía para el nitrito de 3 mg/L (OMS, 1995).

**Fósforo de ortofosfato**

El fósforo de ortofosfato es la forma asequible del fósforo para intervenir en los procesos bioquímicos en el agua. Básicamente es el factor limitante de la productividad en cuerpos de agua, por lo que su evaluación es importante para evaluar los procesos de eutroficación y contaminación en aguas naturales (Colegio de Ingenieros, 1995).

**Sólidos totales**

Los sólidos totales son el residuo luego de la evaporación de una muestra de agua y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales que son los sólidos totales retenidos por un filtro, y los sólidos disueltos totales que es la porción que pasa por dicho filtro (APHA, 1992).

**Sólidos disueltos**

Son los sólidos que pasan a través de un filtro con un tamaño de poro de 2.0 micrómetros o menor, bajo condiciones especificadas. Proporcionan información sobre la cantidad de sales y otros compuestos solubles (APHA, 1992).

**Hidrocarburos**

En vista de las actividades de exploración y explotación petrolera que se realizan en la región a estudiar, la determinación de la contaminación por hidrocarburos es importante, ya que son contaminantes que aparte de presentar niveles de toxicidad, forman una película superficial en los cuerpos de agua que dificulta los procesos de intercambio de oxígeno.

**Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido. Puede usarse como controlador de acidez o alcalinidad excesiva. Describe la concentración del ion  $H^+$ , representado por el logaritmo de su inversa (Colegio de Ingenieros, 1995).

Util para determinar la acción corrosiva sobre estructuras de abastecimiento, distribución, que resultan en adiciones de elementos metálicos al agua potable (hierro, cadmio, plomo, cinc) tendiendo además a disolver metales (a bajo pH el agua sabe ácida). Valores extremos de pH o cambios súbitos pueden provocar situaciones limitantes o acabar con la

vida de organismos acuáticos. (Colegio de Ingenieros, 1995) Extremos en el pH pueden ocasionar la muerte rápida de los peces, alteraciones drásticas en la flora y la fauna, y reacciones peligrosas secundarias, (p.e. cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.). El pH debe mantenerse dentro de un rango “normal” para la vida biológica, entre 6.5-8.0. (Reglamento de requisitos mínimos, 1989)

### 5.2.2 Microbiológicas

#### Microorganismos indicadores

**a. Definición:** Son microorganismos utilizados para evaluar las condiciones del agua, contaminación fecal, presencia de patógenos potenciales o microorganismos deteriorantes, condiciones sanitarias de procesamiento de un cuerpo de agua (Hurst, et.al, 1997).

#### b. Microorganismos indicadores

1. Coliformes Totales (Generales)
2. Coliformes Fecales
3. *Escherichia coli*
4. Otros

#### c. Coliformes (Totales, Generales)

Son bacilos (forma alargada o de bastón) Gram-negativo (se tiñen de rojo al utilizar la tinción de Gram), aerobios (algunos crecen en presencia de oxígeno) y anaerobios facultativos (algunos pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno).

Fuentes

Origen fecal y no fecal, suelo contaminado con heces, cuerpos de agua contaminados con aguas residuales de origen domiciliar o industrial, etc.

**d. Coliformes fecales**

Son bacilos (forma alargada o de bastón) Gram-negativos (se tiñen de color rojo al utilizar la tinción de Gram), facultativos crecen a una temperatura de 44.5 °C.

**Fuentes**

Son relativamente específicos para material fecal de humanos, mamíferos, insectos, aguas residuales (negras) utilizadas para riego, entre otras.

**e. *Escherichia coli***

La presencia de este microorganismo en el agua o ambiente, es indicativo de la contaminación fecal de la muestra analizada.

**Fuentes**

Hombres y animales, suelo y aguas contaminadas con heces fecales, aguas residuales utilizadas para riego de vegetales, entre otras.

## 6. METODOLOGIA

Los métodos analíticos utilizados en el Proyecto, son los recomendados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA, 1992)

### 6.1 Muestreo

15 puntos de muestreo fueron seleccionados con base en las posibles fuentes principales de contaminación del agua en el río Dulce. En el lago de Izabal, se muestrearon los sitios que por la presencia de poblaciones humanas, podrían representar fuentes de contaminación en la parte oriental del lago. Los criterios para la selección fueron: la ubicación de comunidades en el área, la ubicación de fuentes potenciales de contaminación por hidrocarburos (oleoducto, gasolineras), afluentes, según las actividades que se realicen en el área de donde provienen.

### 6.2 Toma de muestras de agua y sedimentos:

Se realizaron de acuerdo a los procedimientos internacionalmente aceptados. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos, para el análisis de contaminantes inorgánicos y en recipientes de vidrio color ámbar para los análisis de contaminantes orgánicos. Las botellas fueron previamente tratadas con ácidos para eliminar cualquier contaminación de las muestras y se transportaron al laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C.

Las muestras de sedimentos de profundidad se extrajeron con draga Ekman y con recipientes de plástico en los sitios poco profundos. Los sedimentos fueron almacenados en bolsas de plástico las cuales se etiquetaron y se transportaron al laboratorio en hieleras a 4°C.

Se colectaron muestras de 1 y 2 litros de agua, dependiendo del análisis para el cual se destinó cada una.

### 6.3 Análisis de Parámetros Físicos en el Campo

Utilizando medidores portátiles, se midieron los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura en cada sitio de muestreo. Se midió también la transparencia utilizando un disco de Secchi.

### 6.4 Análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) en las muestras de agua, se determinaron por cromatografía de gases con columna capilar, previa preparación de la muestra por Extracción en Fase Sólida. Una vez aislados y concentrados los analitos, la muestra es inyectada en el cromatógrafo de gases con Detector de Ionización de Llama, y la cuantificación se realiza utilizando curvas de respuesta del detector vrs. Concentración de estándares de PAH's.

### 6.5 Análisis de metales:

Los metales hierro, el manganeso, el cobre y el zinc, se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama, para lo cual las muestras no necesitan ninguna preparación.

### 6.6 Análisis de nutrientes

Se analizaron los niveles de nitrógeno total, nitrógeno de amonio, de nitratos y de nitritos, y de fósforo total y de o-fosfatos, según metodología de la APHA y AWWA (1992). Los compuestos de interés son hechos reaccionar con reactivos específicos para formar compuestos con coloración, para luego ser analizados por Espectrofotometría visible. Debido al tiempo que transcurre entre la toma de las muestras y su análisis de laboratorio, las muestras se preservaron siguiendo procedimientos de APHA y AWWA (1992).

### 6.7 Medición de sólidos:

Se midieron los sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y sólidos en suspensión en las muestras de agua de ríos y lagunas. Los procedimientos a utilizar son los recomendados por la APHA y AWWA en el Standard Methods (1992).

## 6.8 Identificación de usos del suelo en la región de influencia

Se efectuó un recorrido por los terrenos a ambos lados del río Dulce y del Lago de Izabal, para observar los usos del suelo en la región de interés, para realizar la interpretación de resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

## 6.9 Análisis Bacteriológicos y de fitoplancton

### 6.9.1 Análisis microbiológicos de agua

Toma de muestra para análisis microbiológicos de agua

#### Recipientes

Los recipientes para la colecta de la muestra de agua deben ser herméticos y estar perfectamente limpios, enjuagados con agua destilada y estériles. Para esterilizar los recipientes pueden colocarse en agua hirviendo por 10-15 minutos. Pueden utilizarse las bolsas pre-esterilizadas especiales.

Recomendaciones para el muestreo

- El recipiente que se utilizará para el muestreo debe permanecer cerrado hasta el momento de tomar la muestra.
- Se debe dejar siempre un espacio de aire para facilitar la agitación de la muestra (OMS, 1988).

Agua de ríos, lagos o reservorios

- Se elige y localiza el lugar de donde se desea la muestra, si es necesario se utiliza un bote o lancha.
- Se abre el recipiente de donde se desea tomar la muestra y rápidamente se introduce en el agua contra la corriente. En caso de no haber corriente se mueve horizontalmente.
- Al terminar se cierra el recipiente rápidamente y se rotula como se indicó anteriormente.

### Volumen de muestra

El volumen de la muestra por análisis no debe ser menor de 100 ml, si se desea un análisis completo el volumen debe ser de por lo menos 500 ml.

### Transporte y recepción de muestras

- Si las muestras no se van a procesar inmediatamente es **muy importante** que después de 1 hora de colectadas se deben transportar en condiciones de refrigeración a menos de 10 °C.
- Un tiempo de 6 horas entre la toma de la muestra y el análisis es aceptable; si esto no es posible el tiempo máximo es de 24 horas.
- Todas las muestras deben estar bien rotuladas al momento de llegar al laboratorio (de preferencia debe utilizarse un marcador indeleble para evitar que la información se borre durante el transporte).

### Análisis microbiológicos en el laboratorio

#### Materiales y reactivos

- Tubos de vidrio con tapón de rosca
- Cajas de Petri
- Caldo LMX
- Pipetas automáticas para 1 mL, 0.1mL
- Pipetas serológicas para 10 mL
- Pipetor
- Tips estériles

#### Procedimiento

Se analizaron coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*: Método del Numero Más Probable o Tubos Múltiples modificación con LMX (15 tubos). Las pruebas se incuban a 37 °C por 24 hrs. Los resultados se leen por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa y presencia o ausencia de fluorescencia. Se leen en una tabla de número más probable para juegos de 15 tubos.



### 6.9.2 Fitoplancton

La presencia de ciertas especies de algas o asociaciones algales en un ambiente específico, las constituye en indicadores biológicos de las condiciones ambientales existentes y en cierto momento su distribución y/o crecimiento desordenado puede reflejar cambio o situaciones positivas o negativas que se están dando en el ecosistema (Herrera K, 1999). A partir del tipo de organismos fitoplanctónicos presentes en un ambiente particular, así como de su abundancia y densidad, pueden hallarse una serie de índices que permiten determinar el estado trófico y la calidad del agua (Ramírez, JJ, 2000).

Hay seis divisiones algales más representativas de agua dulce, se trata de las siguientes: Cyanophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta y Chlorophyta.

#### Muestreo

La unidad de muestreo consistió en una red debido a las características del ecosistema y las condiciones del punto elegido para el muestreo (Ramírez JJ, 2000).

Debe efectuarse la localización de los sitios de muestreo, la naturaleza física del agua influye en gran medida en la selección del sitio de muestreo. Al escoger las estaciones de muestreo es importante tener en cuenta las áreas en las que se ha colectado anteriormente, ya que esto permitirá hacer comparaciones. Las estaciones de muestreo deben ser localizadas en un mapa. 100 litros de agua fueron tomadas y reducidas a un volumen de 100 mL.

Las muestras se preservan con lugol y/o formalina. Posteriormente se procede a la identificación de los especímenes encontrados y al recuento de los mismos en la muestra. Para el efecto se utilizará una cámara de Sedgwick-Rafter.

## 7. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los análisis microbiológicos, de fitoplancton y fisicoquímicos. Los sitios de muestreo se presentan en los mapas 1 y 2 en Anexos y en el cuadro 30 en Anexos.

### 7.1 Resultados de Análisis Bacteriológicos

#### 7.1.1 Recuento Aeróbico Total de Bacterias en el Río Dulce

En la Gráfica 1 se presentan los resultados del agua analizada para los 11 puntos de muestreo en el Río Dulce. En el primer muestreo se observa la menor cantidad de recuento de bacterias. Los recuentos de bacterias fueron aumentando entre muestreos, observándose picos durante el primer muestreo en Livingston (930) y en el segundo muestreo en el Centro del Golfete (1 980<sup>1</sup>), Creek Jute (7600<sup>1</sup>) y Livingston (1 600). En el tercer muestreo, el aumento del recuento de bacterias se observó en Camelias (24000), Entrada de Golfete (6 400<sup>1</sup>), Centro del Golfete (1 200<sup>1</sup>) y Torno de la Virgen (720<sup>1</sup>) y disminuyeron en el cuarto muestreo en casi todos los puntos con excepción de Río Bonito (490<sup>1</sup>), Río Lámpara (570<sup>1</sup>), y Castillo de San Felipe (210<sup>1</sup>). Los mayores recuentos de bacterias se observaron en el segundo muestreo en el Centro del Golfete y en el Río Creek Jute; y en el tercer muestreo en el punto Entrada del Golfete y Camelias.

En la Gráfica 2 se observan los resultados de 4 puntos de muestreo, donde los valores de recuentos de bacterias en el segundo muestreo en Castillo de San Felipe fueron de 2000 UFC/ml. En el tercer muestreo se vieron los mayores recuentos de bacterias en Mariscos (4 300 UFC/ml) y Río San Marcos (1 400). Las muestras tomadas en el cuarto muestreo presentaron en recuentos elevados en Río San Marcos (1 400 UFC/ml).

#### 7.1.2. Recuento de Coliformes Totales por el Número Más Probable

En las Gráficas 3 y 4 se presentan los recuentos de coliformes totales en NMP/100ml de muestras tomadas en el Río Dulce y el Lago de Izabal. En los 11 puntos

---

<sup>1</sup> Los números que están en paréntesis representan el resultado en números de los análisis efectuados a las muestras de agua tomada. La unidades son UFC/ml.

de muestreo en el Río Dulce, los resultados de coliformes totales variaron de punto a punto. En el primer muestreo se encontró una gran variabilidad de recuentos observándose los recuentos más altos en Centro del Golfete (2 400), Río Lámpara (1 600), Torno de la Virgen (920) y en Livingston (2 400). En el segundo muestreo el puntos con mayor recuento de coliformes fue Creek Jute (2 400), en el tercer muestreo fue el punto definido como Río Dulce (bajo puente) (700)<sup>2</sup>, Camelias (9200). El cuarto muestreo presenta picos en Río Dulce (bajo puente) (3 500) y Livingston (920).

En la Gráfica 4 se presentan los resultados de coliformes totales muestras de agua tomadas en el Lago de Izabal durante los 4 muestreos realizados en febrero, mayo, agosto y octubre. Se obtuvieron diferentes de resultados en los 4 muestreos. Los recuentos de coliformes totales más altos fueron en Mariscos (2 400) durante el segundo muestreo y en el cuarto muestreo en Centro del Lago (2 400), en Río San Marcos (2 200) y en Castillo de San Felipe (2 400) .

### **7.1.3. Recuento de Coliformes Fecales por el Número Más Probable**

Las Gráficas 5 y 6 corresponden a los recuentos de coliformes fecales de muestras tomadas en los meses de febrero, mayo, agosto y octubre en 15 diferentes puntos.

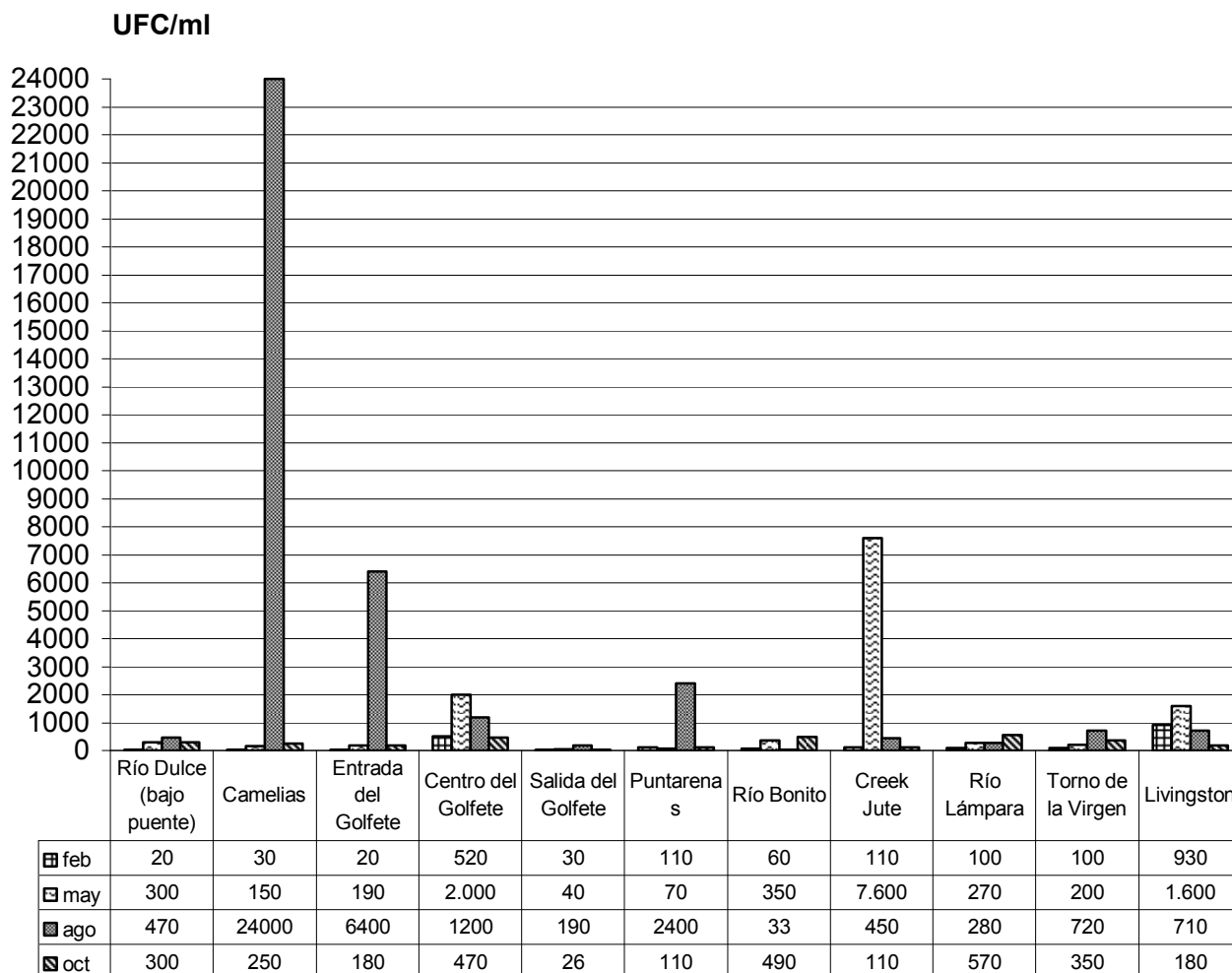
En la gráfica 5 correspondiente a Río Dulce, los recuentos de coliformes fecales que se presentan varían de punto a punto y de muestreo a muestreo encontrándose los recuentos de coliformes fecales más elevados en el primer muestreo en Livingston (240) y en el segundo muestreo en Creek Jute (2 400), Río Lámpara (350). En el tercer muestreo en Camelias (700), Entrada del Golfete (350) y Centro del Golfete (310) se presentan los recuentos más altos.

En la gráfica 6 las barras presentadas para los cuatro puntos tomados en el Lago de Izabal demuestran la cantidad de coliformes fecales. Se observa un recuento elevado de estos indicadores en el cuarto muestreo en el Río San Marcos (330 NMP/ml).

---

<sup>2</sup> Estos números son los resultados obtenidos durante los 4 muestreos y las unidades para reportar son NMP/100ml.

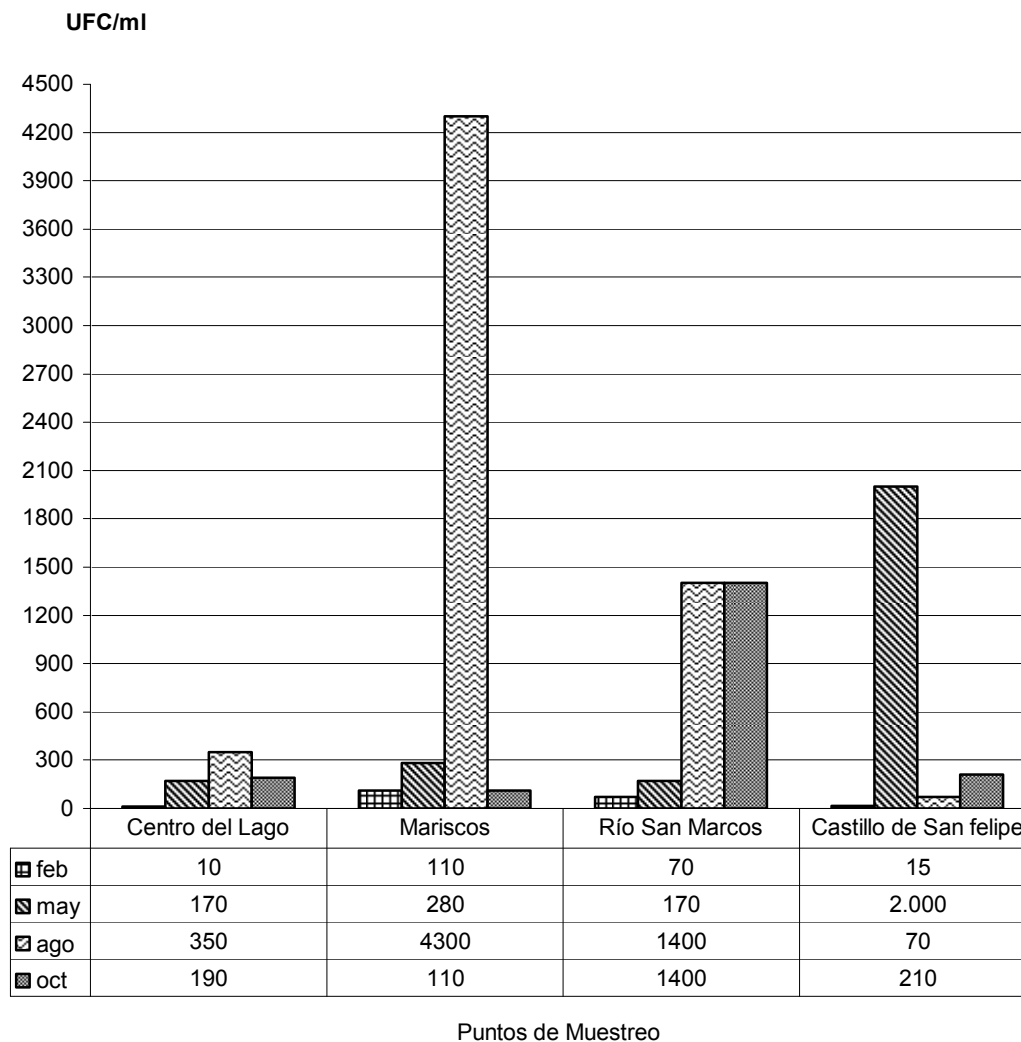
Gráfica 1. Recuento de Bacterias de Muestras de Agua Tomadas en el Río Dulce



### Puntos de Muestreo

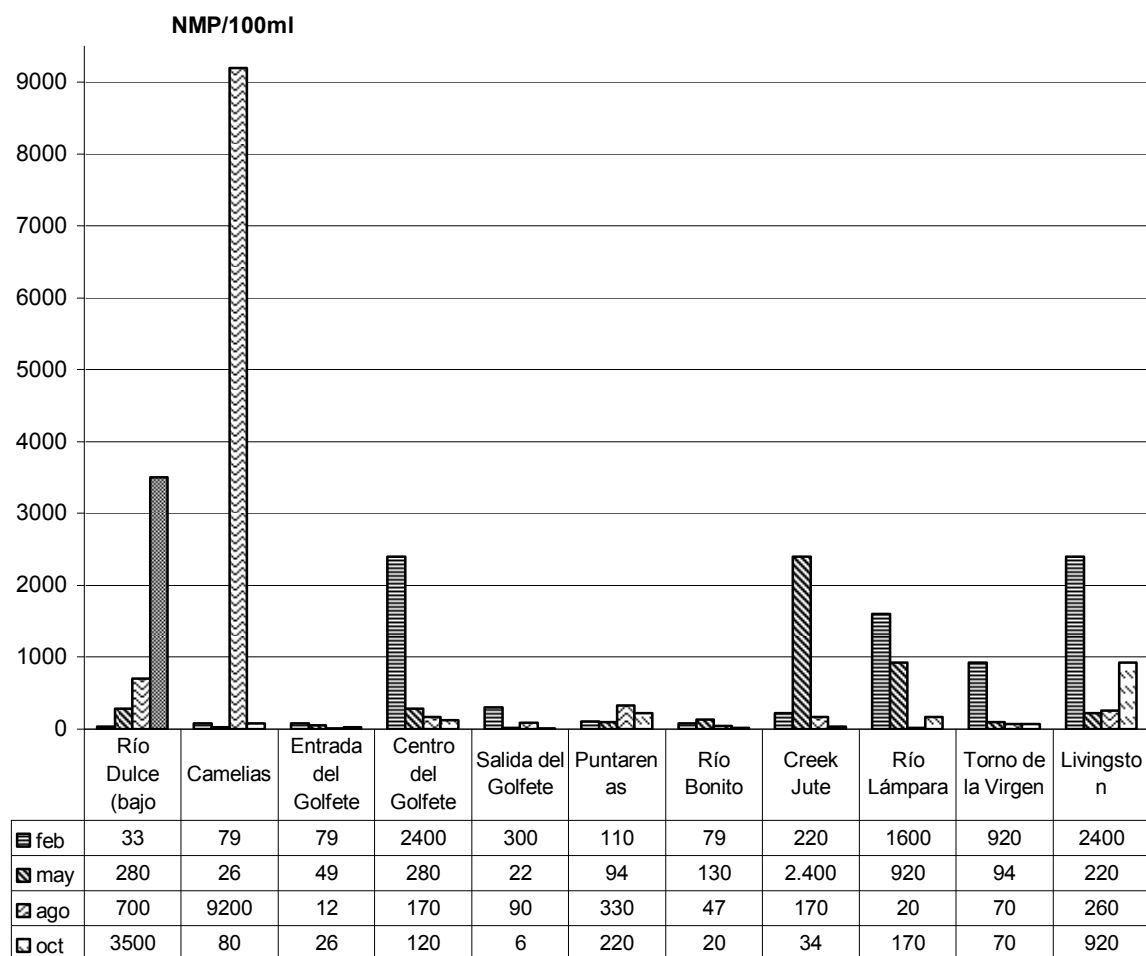
En la gráfica se presentan los recuentos totales de bacterias de muestras tomadas a lo largo del Río Dulce, en 11 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron un mayor recuento aeróbico de bacterias fueron las tomadas durante el segundo muestreo en Creek Jute (7 600), y en el tercer muestreo en Camelias (24 000), Entrada al Golfete (6 400) y Puntarenas (2400).

Gráfica 2. Recuento Total de Bacterias de Muestras de Agua Tomadas en el Lago de Izabal



La gráfica muestra los recuentos totales de bacterias de muestras tomadas en el Lago de Izabal, en 4 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron un mayor recuento aeróbico de bacterias fueron las tomadas durante el segundo muestreo en Castillo de San Felipe (2000), y en el tercer muestreo en Mariscos (4300) y Río San Marcos (1400) y en el cuarto muestreo en el Río San Marcos (1400).

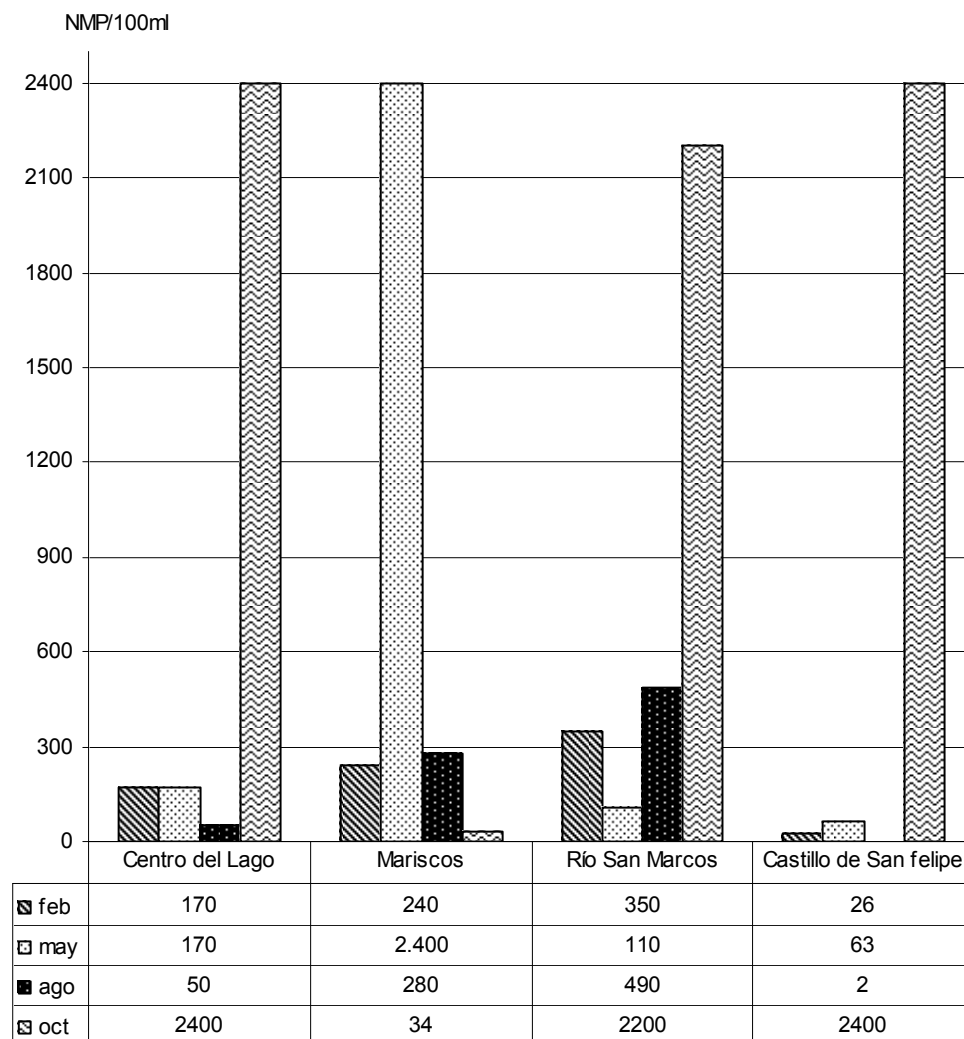
Gráfica 3. Recuento de Coliformes Totales de Muestras de Agua Tomadas en el Río Dulce



#### Puntos de Muestreo

En la gráfica se observan los recuentos de bacterias coliformes de muestras tomadas en el Río Dulce, en 11 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron una mayor cantidad de coliformes totales fueron las tomadas durante el primer muestreo en el Centro del Golfete (2 400), Río Lámpara (1 600), en Torno de la Virgen (920) y en Livingston (2 400) en el segundo muestreo en Creek Jute (2 400) y en Río Lámpara (920), y en el tercer muestreo en Río Dulce (bajo puente) (700) y Camelias (9 200) y en el cuarto muestreo en Río Dulce (bajo puente) (3 500), y en Livingston (920).

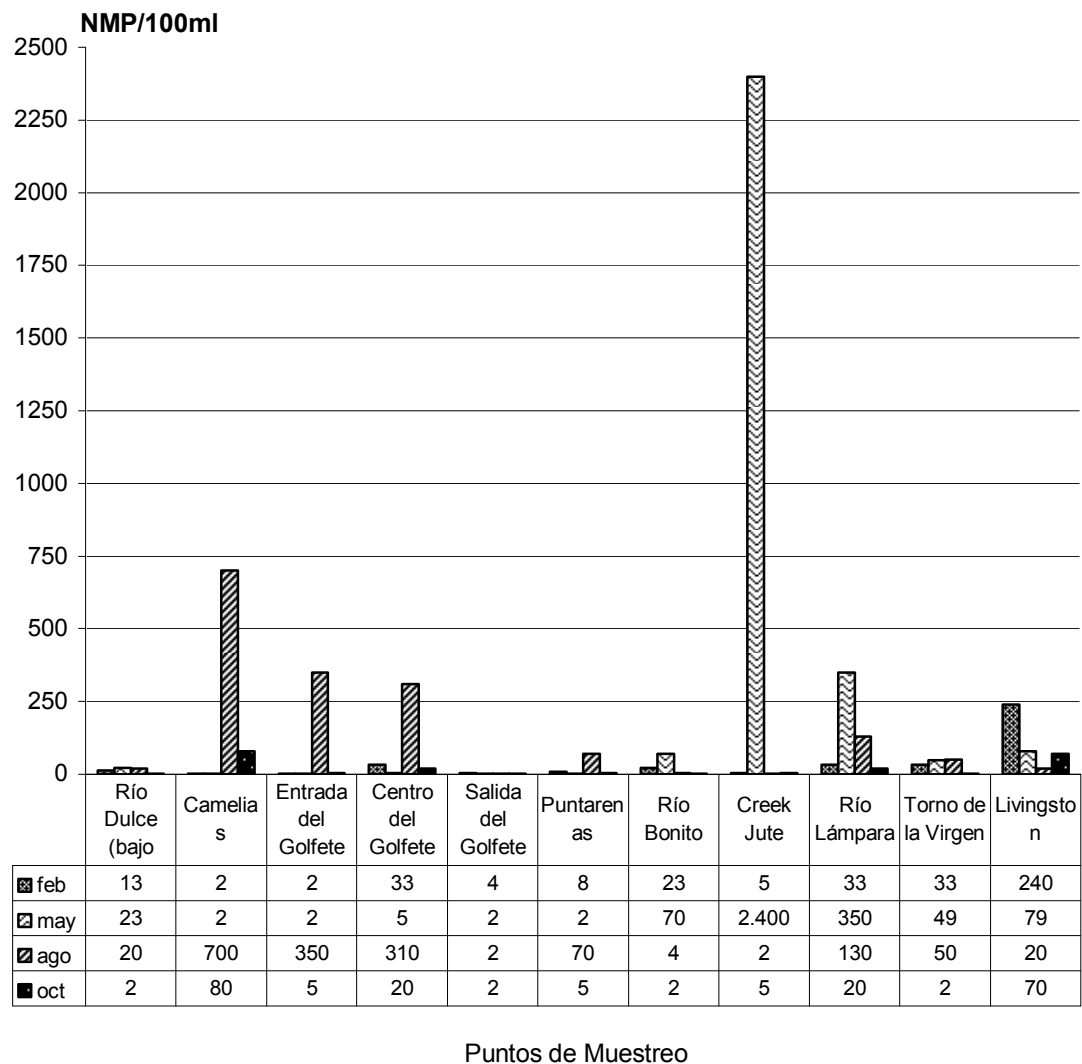
Gráfica 4. Recuento de Coliformes Totales de Muestras de Agua Tomadas en el Lago de Izabal



#### Puntos de Muestreo

La gráfica presenta los recuentos de coliformes totales de muestras tomadas en el Lago de Izabal, en 4 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron una mayor cantidad de coliformes totales fueron las tomadas durante el segundo muestreo en Mariscos (2400), y en el cuarto muestreo en Centro del Lago (2400), Río San Marcos (2200) y Castillo de San Felipe (2400).

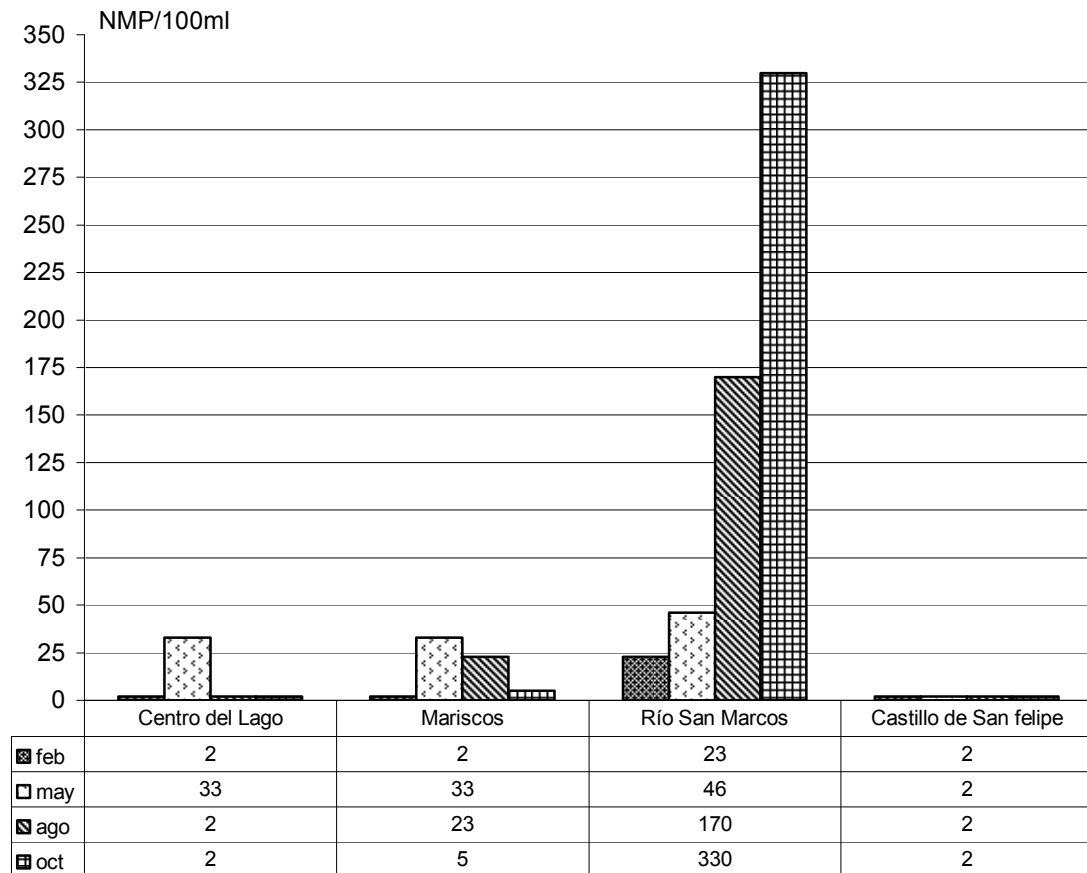
Gráfica 5. Recuento de Coliformes Fecales de Muestras de Agua Tomadas en el Río Dulce



En la gráfica se observan los recuentos de coliformes fecales de muestras tomadas en el Río Dulce, en 11 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron una mayor cantidad de coliformes fecales fueron las tomadas durante el primer muestreo en Livingston (240), en el segundo muestreo en Creek Jute (2 400) y en Río Lámpara (350) y en el tercer muestreo en Camelias (700), en Entrada al Golfete (350) y en Centro del Golfete (310).



Gráfica 6. Recuento de Coliformes Fecales de Muestras de Agua Tomadas en el Lago de Izabal



#### Puntos de Muestreo

La gráfica presenta los recuentos de coliformes fecales de muestras tomadas en el Lago de Izabal, en 4 diferentes puntos. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Los puntos que presentaron una mayor cantidad de coliformes fecales fueron las tomadas durante el tercer y cuarto muestreo en el Río San Marcos (170, 330).

#### 7.1.4. Presencia o Ausencia de *Escherichia coli* en Río Dulce y Lago de Izabal.

Con base a los resultados observados en el cuadro 1 sí se aisló *Escherichia coli* en la mayoría de muestras tomadas durante los cuatro muestreos en casi todos los puntos. En el primer muestreo no se aisló *Escherichia coli* en Camelias, en Castillo de San Felipe, en Centro del Lago y Mariscos. Durante el segundo muestreo solo en Río Lámpara y Centro del Lago no se aisló *Escherichia coli*. En el tercer muestreo, en Salida del Golfete, Creek Jute, Castillo San Felipe y Centro del Lago no se encontró *Escherichia coli* en las muestras de agua; y en el cuarto muestreo los puntos negativos para *Escherichia coli* fueron Río Dulce, Salida del Golfete, Torno de la Virgen y Centro del Lago.

Cuadro 1. Presencia de *E. coli* en los Puntos de Muestreo ubicados en Río Dulce y Lago de Izabal

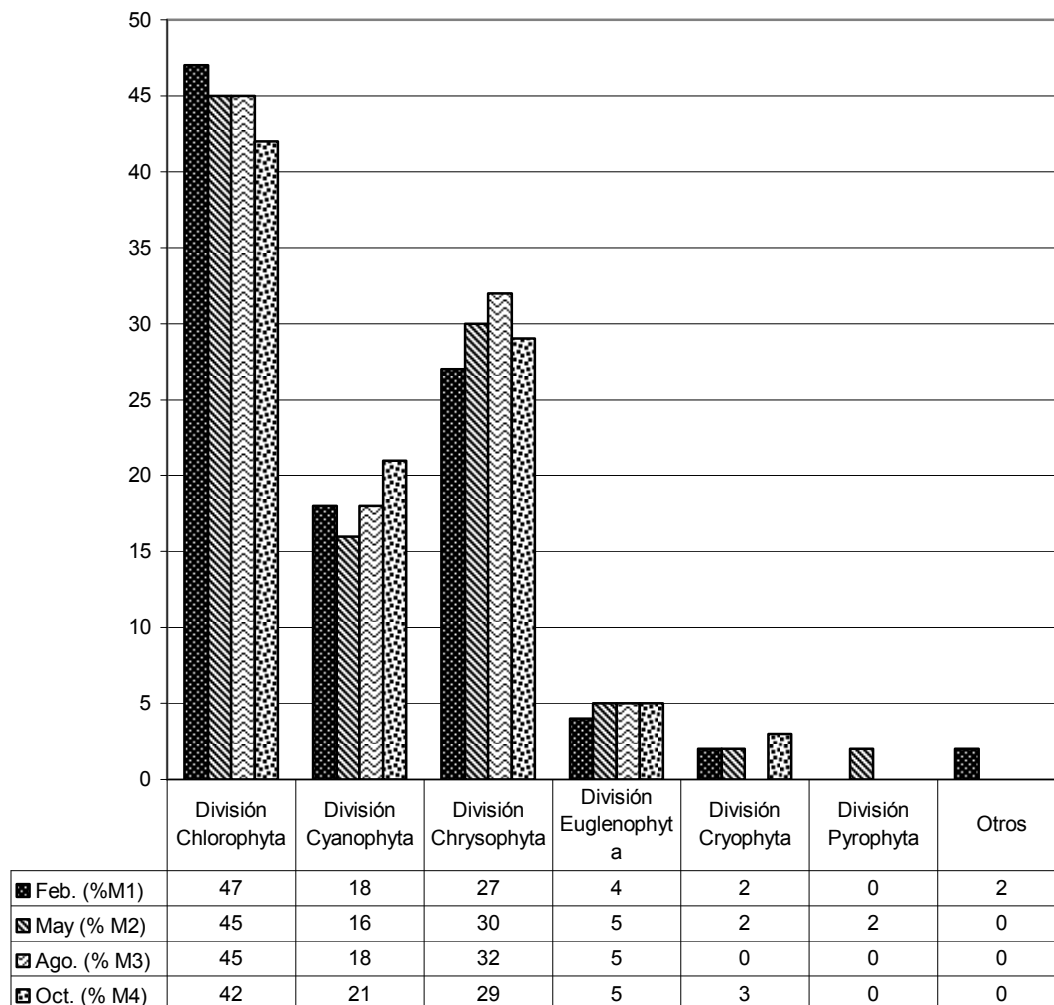
<b>Pto. De muestreo</b>	<b>feb</b>	<b>may</b>	<b>ago</b>	<b>oct</b>
<b>Río Dulce</b>				
Río Dulce (de bajo del puente)	+	+	+	-
Camelias	-	+	+	+
Entrada del Golfete	+	+	+	+
Centro del Golfete	+	+	+	+
Salida del Golfete	+	+	-	-
Puntarenas	+	+	+	+
Río Bonito	+	+	+	-
Creek Jute	+	+	-	+
Río Lámpara	+	-	+	+
Torno de la Virgen	+	+	+	-
Livingston	+	+	+	+
<b>Lago de Izabal</b>				
Centro del Lago	-	-	-	-
Mariscos	-	+	+	+
Río San Marcos	+	+	+	+
Castillo de San Felipe	-	+	-	-

## 7.2 Fitoplancton

Con relación a los resultados a este grupo de microorganismos indicadores a continuación se detalla lo obtenido.

**Gráfica 7. Proporción de fitoplancton de muestras tomadas en el Lago de Izabal y Río Dulce**

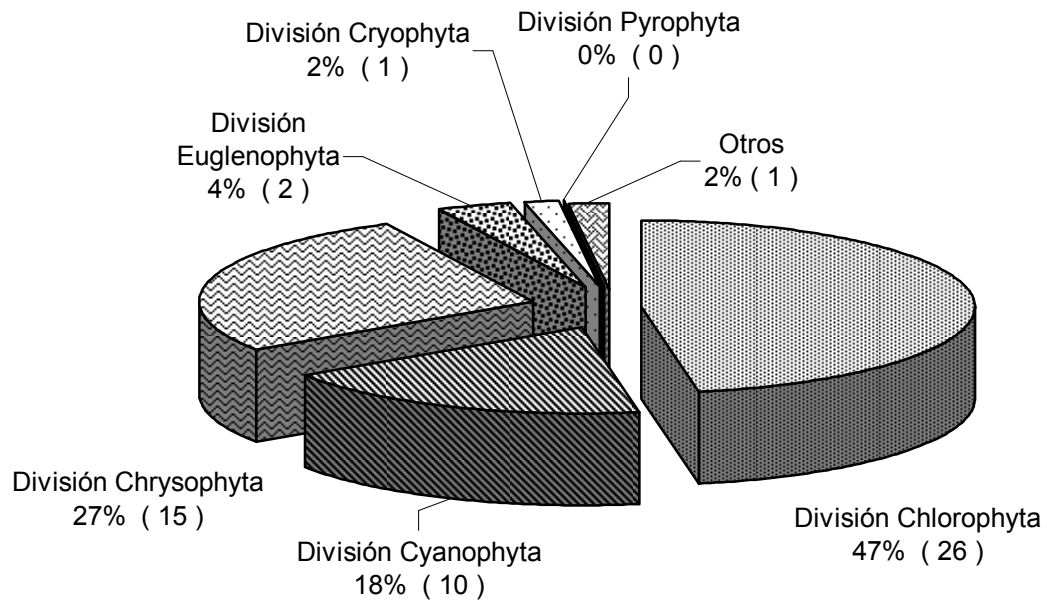
Porcentaje de Géneros



Divisiones de Fitoplancton

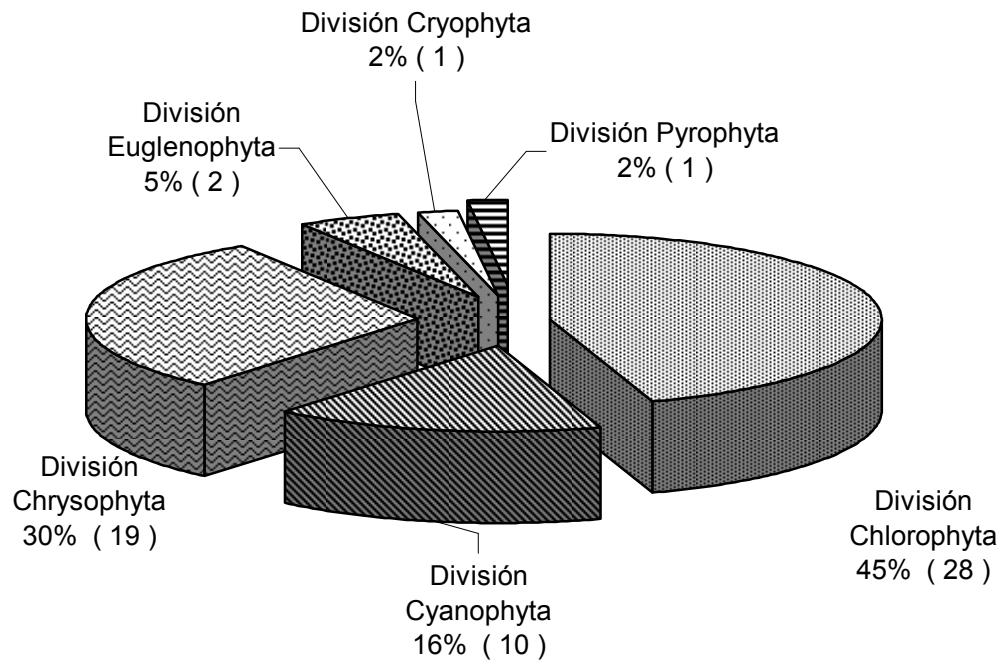
La Gráfica muestra la proporción de fitoplancton encontrado en los cuatro muestreos realizados en el Lago de Izabal y Río Dulce. El primer muestreo corresponde a las muestras tomadas en febrero, las del segundo muestreo a las tomadas en mayo, las del tercer muestreo a las muestras tomadas en agosto y por último el cuarto muestreo a las muestras tomadas en octubre. Se puede observar que la división Chlorophyta presenta la mayor diversidad de géneros en los cuatro muestreos, en segundo lugar está la división Chrysophyta y en tercer lugar la Cyanophyta.

**Gráfica 8. Géneros de Fitoplancton correspondientes al primer muestreo en el Lago de Izabal-Río Dulce**



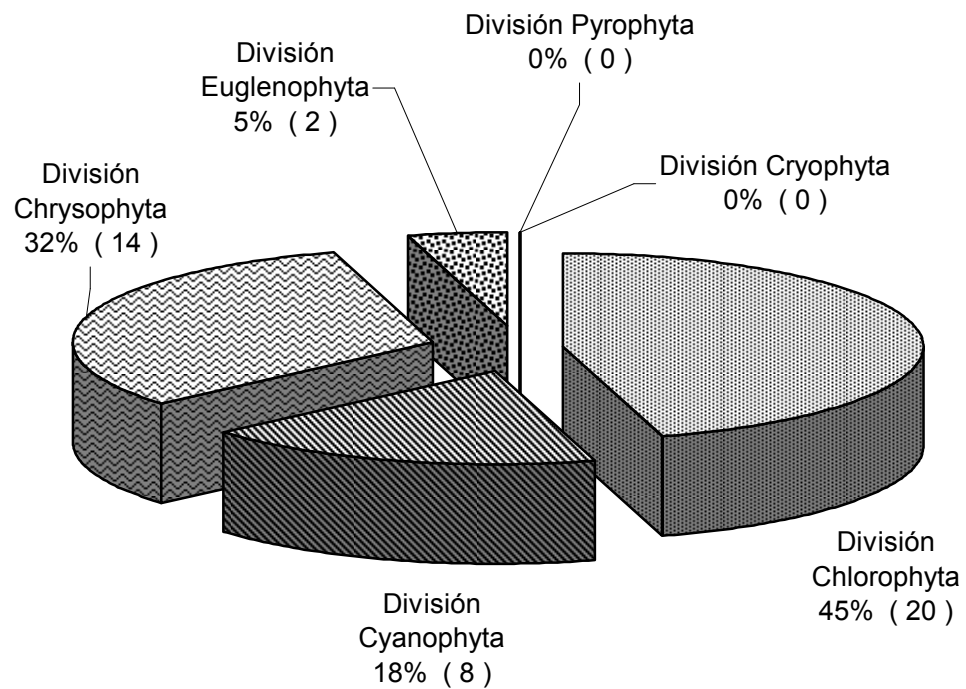
En la Gráfica 8 se observan los resultados en porcentajes y entre paréntesis el número de géneros de las divisiones de fitoplancton observadas en el primer muestreo en Río Dulce y Lago de Izabal. La división Chlorophyta es la más diversa, alcanza el 47 por ciento de los géneros equivalente a 26 organismos identificados.

**Gráfica 9. Géneros de Fitoplancton correspondientes al segundo muestreo en el Lago de Izabal-Río Dulce**



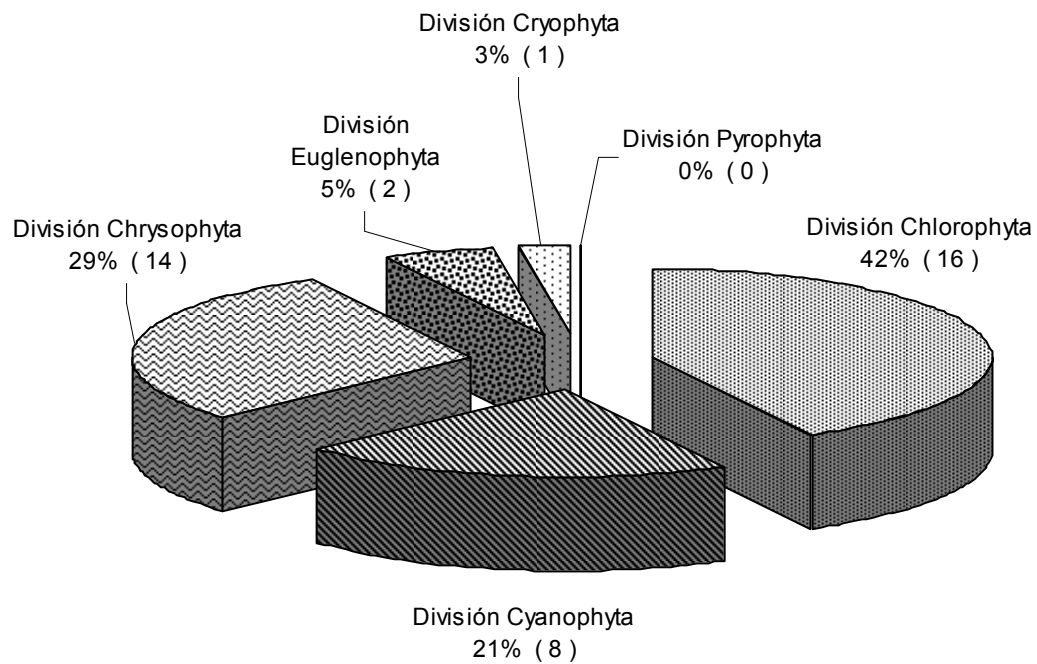
Esta Gráfica presenta los resultados en porcentajes y entre paréntesis el número de géneros de las divisiones de fitoplancton observadas en el segundo muestreo en Río Dulce y Lago de Izabal. Las divisiones con mayor diversidad corresponden a las Chlorophytas con 28 géneros (45 %), las Chrysophytas con 19 géneros (30 %) y las Cyanophytas con 10 géneros (16 %) de organismos encontrados.

Gráfica 10. Géneros de Fitoplancton correspondientes al tercer muestreo en el Lago de Izabal-Río Dulce



La Gráfica 10 presenta los resultados en porcentajes y entre paréntesis el número de géneros de las divisiones de fitoplancton correspondientes al tercer muestreo realizado en agosto en Río Dulce y Lago de Izabal. La división Chlorophyta es la más diversa con 20 géneros (45 %) y no se encontraron géneros en las divisiones de las Pyrophytas, Cryophytas.

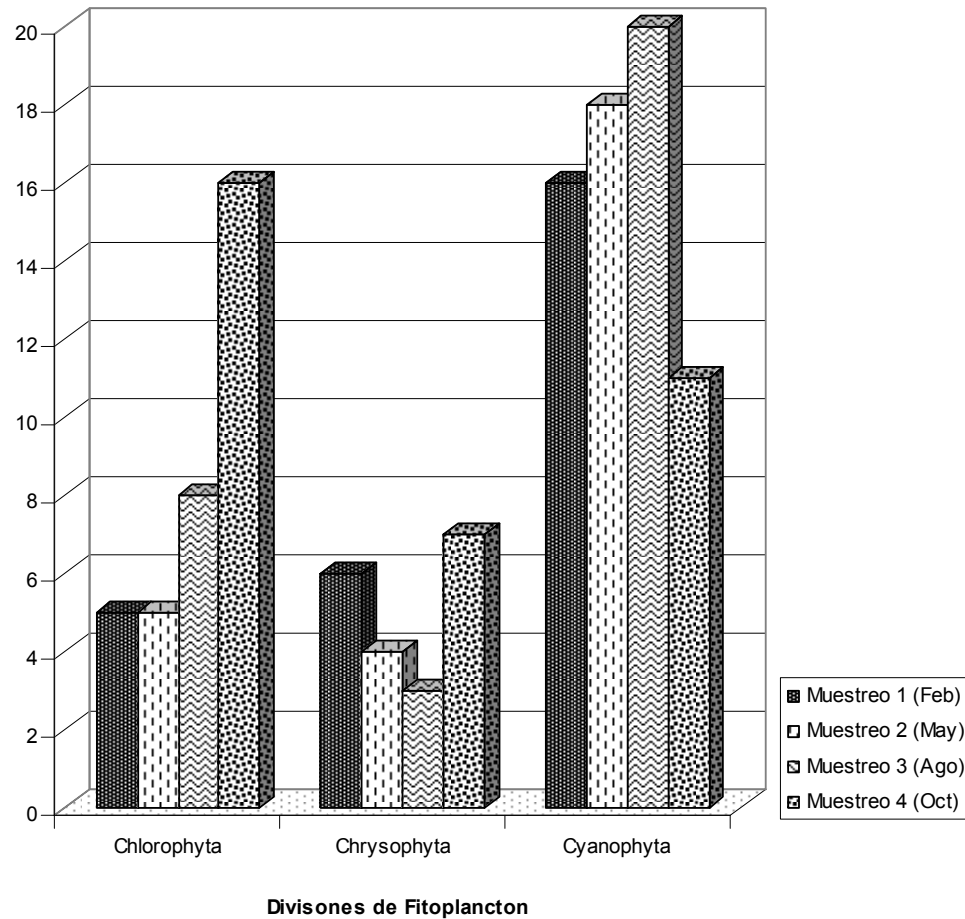
**Gráfica 11. Géneros de Fitoplancton correspondientes al cuarto muestreo en el Lago de Izabal-Río Dulce**



La Gráfica muestra los resultados en porcentajes y entre paréntesis el número de géneros de las divisiones de fitoplancton correspondientes al cuarto muestreo (mes de octubre) en Río Dulce y Lago de Izabal. La división chlorophyta es la más diversa con 16 géneros (42 %) encontrados durante el cuarto muestreo.

**Gráfica 12. Abundancia de divisiones de fitoplancton de muestras de agua tomadas en el Lago de Izabal-Río Dulce**

Abundancia de  
Géneros



En la Gráfica 12 se muestra la cantidad de abundancia de géneros por división de las muestras tomadas del Lago de Izabal y Río Dulce. Se observa que la división más diversa durante los muestreos de febrero, mayo y agosto corresponde a las Cyanophytas y en el cuarto muestreo correspondiente al mes de octubre los géneros más abundantes corresponden a la división de las Chlorophytas.







<i>Dinobryon</i>					X				X
<i>Dinobryon sertularia</i>		X							
<i>Ephitemia</i>									
<i>Fragilaria</i>									
<i>Gomphonema</i>	X		X	X	X	X			X
<i>Melosira sp 1</i>			X	X	X	X		X	X
<i>Melosira granulata</i>									
<i>Melosira sp 2</i>									
<i>Melosira varians</i>									
<i>Meridion</i>									
<i>Navicula</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzchia</i>	X	X	X	X	X	X	X		X
<i>Pinnularia</i>				X					
<i>Stauroneis</i>							X		X
<i>Stephanodiscus</i>									
<i>Synedra</i>	X								
<i>Tabellaria</i>	X			X					X
<b>DIVISIÓN EUGLENOPHYTA</b>									
<i>Euglena</i>	X		X	X	X	X	X	X	X
<i>Lempociclis</i>									
<i>Trachelomonas</i>					X		X	X	
<b>DIVISIÓN CRYOPHYTA</b>									
<i>Cryptomonas</i>			X	X					X
<b>DIVISIÓN PYRROPHYTA</b>									
<i>Peridinium sp.</i>									
<i>Ulva</i>				X		X		X	
<b>TOTAL DE GENEROS</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>41</b>

**Cuadro 3. Resultados de las observaciones de Fitoplancton  
Muestreo 2 (mayo)**

En el Cuadro 3 se presentan desglosados los géneros de fitoplancton encontrados en el segundo muestreo, observándose en el Río Chocón (34 géneros) y Camelias (34 géneros) Centro del Lago de Izabal (33 géneros) y fueron los puntos con mayor cantidad de fitoplancton observado.

Género de plancton	Camelias	Entrada del Golfete	Centro del Golfete	Salida del Golfete	Río Chocón	Torno de la Virgen	Centro del Lago de Izabal	Mariscos	Castillo de San Felipe
<b>DIVISIÓN CHLOROPHYTA</b>									
<i>Ankistrodesmus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Arthrodesmus</i>		X							
<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas</i>			X	X	X	X			
<i>Chlorella</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chlorococcum</i>		X			X		X		X
<i>Chodatella</i>			X	X		X		X	
<i>Closterium</i>			X		X				X
<i>Closterium aciculate</i>						X	X		
<i>Closterium parvulum</i>						X	X		
<i>Coelastrum sp 1</i>		X		X	X	X			
<i>Coelastrum reticulatum</i>									
<i>Coelastrum sphaericum</i>						X			
<i>Cosmarium sp 1</i>	X				X	X		X	
<i>Cosmarium sp 2</i>									
<i>Cosmarium sp 3</i>									
<i>Crucigenia sp 1</i>		X							
<i>Crucigenia sp 2</i>	X		X		X	X			X
<i>Desmidium</i>								X	
<i>Dictyosphaerium</i>	X	X			X	X	X		X
<i>Euastrum</i>	X		X						
<i>Gonatozygon</i>									
<i>Hydrodictyon</i>									
<i>Kirchneriella</i>		X					X		X
<i>Lagerheimia sp 1</i>				X		X			
<i>Micractinium</i>									
<i>Micrasterias sp 1</i>	X				X	X			
<i>Micrasterias sp 2</i>									
<i>Micrasterias sp 3</i>		X							



<i>Dinobryon</i>									X
<i>Dinobryon sertularia</i>	X				X		X		
<i>Ephitemia</i>	X	X							
<i>Fragilaria</i>		X	X				X	X	
<i>Gomphonema</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Melosita sp 1</i>				X	X	X		X	X
<i>Melosira granulata</i>					X				
<i>Melosira sp 2</i>									
<i>Melosira varians</i>	X								
<i>Meridion</i>						x			
<i>Navicula</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzchia</i>	X	X	X	X	X		X	X	
<i>Pinnularia</i>							X		
<i>Stauroneis</i>	X				X				
<i>Stephanodiscus</i>							X		
<i>Synedra</i>								X	
<i>Tabellaria</i>									
<b>DIVISIÓN EUGLENOPHYTA</b>									
<i>Euglena</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Lepocinclis</i>								X	
<i>Trachelomonas</i>	X	X		X		X		X	X
<b>DIVISIÓN CRYOPHYTA</b>									
<i>Cryptomonas</i>	X							X	
<b>DIVISIÓN PYRROPHYTA</b>									
<i>Peridinium sp.</i>	X	X						X	
<i>Ulva</i>									
<b>TOTAL DE GENEROS</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>34</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>28</b>



<i>Oedogonium</i>									
<i>Oocystis sp 1</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Oocystis sp 2</i>							X		
<i>Palmilla</i>									
<i>Pediastrum sp 1</i>									
<i>Pediastrum duplex</i>							X		
<i>Pediastrum simplex</i>	X	X	X	X	X	X		X	X
<i>Scenedesmus arcuatus</i>									
<i>Scenedesmus bicaudus</i>									
<i>Scenedesmus bijugus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Scenedesmus quadricauda</i>									
<i>Sphaerocyttis</i>						X			
<i>Spirogyra</i>									
<i>Staurastrum sp1</i>									
<i>Staurastrum sp 2</i>	X		X			X		X	
<i>Staurastrum sp 3</i>									
<i>Tetraedron</i>			X		X				
<i>Ulothrix</i>									
<i>Volvox</i>					X				
<b>DIVISIÓN CYANOPHYTA</b>									
<i>Anabaena</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Anacystis</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa sp 1</i>	X	X	X			X	X	X	X
<i>Arthrospira</i>									
<i>Gomphosphaeria</i>	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Lyngbya</i>									
<i>Merismopedia</i>	X	X	X	X		X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nodularia</i>					X			X	
<i>Oscillatoria</i>									
<i>Raphidiopsis</i>									
<i>Spirulina</i>				X					
<i>Trichodesmium</i>									
<b>DIVISIÓN CHRYSOPHYTA</b>									
<i>Achnantes</i>			X		X		X	X	
<i>Amphiprora</i>						X			
<i>Asterionella</i>									
<i>Chromullina</i>									
<i>Cocconeis</i>	X	X	X	X	X	X		X	X
<i>Cyclotella</i>	X	X	X		X			X	
<i>Cymbella</i>		X	X				X	X	



<i>Diatoma</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Dinobryon</i>									
<i>Dinobryon sertularia</i>			X	X					
<i>Ephitemia</i>									
<i>Fragilaria</i>									
<i>Gomphonema</i>		X	X		X				
<i>Melosira sp 1</i>	X	X	X	X	X	X		X	X
<i>Melosira granulata</i>									
<i>Melosira sp 2</i>	X		X			X	X		X
<i>Melosira varians</i>			X						
<i>Meridion</i>				X				X	
<i>Navicula</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Nitzschia</i>		X	X	X		X			
<i>Pinnularia</i>		X							
<i>Stauroneis</i>	X				X			X	
<i>Stephanodiscus</i>									
<i>Synedra</i>									
<i>Tabellaria</i>									
<b>DIVISIÓN EUGLENOPHYTA</b>									
<i>Euglena</i>	X	X	X	X	X		X		
<i>Lepocinclis</i>									
<i>Trachelomonas</i>		X	X	X			X		
<b>DIVISIÓN CRYOPHYTA</b>									
<i>Cryptomonas</i>									
<b>DIVISIÓN PYRROPHYTA</b>									
<i>Peridinium sp</i>									
<i>Ulva</i>									
<b>TOTAL GENEROS</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>31</b>	<b>32</b>





<i>Dinobryon sertularia</i>							X		
<i>Ephitemia</i>									
<i>Fragilaria</i>									
<i>Gomphonema</i>				X		X			
<i>Melosira sp 1</i>			X			X	X		X
<i>Melosira granulata</i>									
<i>Melosira sp 2</i>		X	X			X			X
<i>Melosira varians</i>			X						
<i>Meridion</i>									
<i>Navicula</i>	X		X	X		X	X	X	
<i>Nitzchia</i>			X	X	X			X	
<i>Pinnularia</i>		X							
<i>Stauroneis</i>									
<i>Stephanodiscus</i>									
<i>Synedra</i>									
<i>Tabellaria</i>									
<b>DIVISIÓN EUGLENOPHYTA</b>									
<i>Euglena</i>		X	X		X	X	X		
<i>Lepocinclis</i>									
<i>Trachelomonas</i>		X		X			X		X
<b>DIVISIÓN CRYOPHYTA</b>									
<i>Cryptomonas</i>	X					X			
<b>DIVISIÓN PYRROPHYTA</b>									
<i>Peridinium sp.</i>									
<i>Ulva</i>									
<b>TOTAL GENEROS</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>18</b>

El Cuadro 6 presenta un listado de los géneros más abundantes encontrados en cada punto de muestreo, durante el primer muestreo en el Río dulce y Lago de Izabal. Los géneros más frecuentes son *Anabaena*, *Anacystis* y *Microcystis* que pertenecen a la división de las Cyanophytas y otras especies de fitoplancton que son abundantes son *Pediastrum simplex*, *Botryococcus braunii* y *Ankistrodesmus* que corresponden a las Chlorophytas así como *Diatoma* que se clasifica dentro de las Chrysophytas.

Cuadro 6. Géneros más abundantes por punto de muestreo correspondientes al primer muestreo

Punto de Muestreo	División	Género	Nutriente Limitante
Torno de la Virgen	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	fósforo
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Entrada al Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus</i>	
Centro del Gofete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	
Salida del Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	fósforo
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus</i>	
Río Chocón	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	fósforo
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Camelias	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	
Castillo de San Felipe	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus</i>	
Centro del Lago	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	ninguno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
Mariscos	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Navicula</i>	

En el Cuadro 7 se observa un listado de los géneros más abundantes encontrados en cada punto de muestreo, durante el segundo muestreo. En cuanto a los géneros más frecuentemente identificados son: *Anabaena*, *Anacystis* y *Microcystis aeruginosa*.

Cuadro 7. Géneros más abundantes por punto de muestreo correspondientes al segundo muestreo.

Punto de Muestreo	División	Género	Nutriente Limitante
Torno de la Virgen	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	
Entrada al Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
Centro del Gofete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	
Salida del Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Merismopedia</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	
Río Chocón	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	nitrógeno
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	
Camelias	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Castillo de San Felipe	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	fósforo
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	
Centro del Lago	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	
Mariscos	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	

Este cuadro muestra que entre los géneros más abundantes están *Microcystis*, *Anacystis* que corresponden a la división Cyanophyta y *Pediastrum simplex* correspondiente a al división Chlorophyta.

Cuadro 8. Géneros más abundantes por punto de muestreo correspondientes al tercer muestreo.

Punto de Muestreo	División	Género	Nutriente Limitante
Torno de la Virgen	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Merismopedia</i>	
Entrada al Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Centro del Gofete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Merismopedia</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
Salida del Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
Río Chocón	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
Camelias	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Castillo de San Felipe	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	ninguno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Cosmarium impresulum</i>	
Centro del Lago	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis</i>	
Mariscos	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anabaena</i>	

El Cuadro 9 presenta los géneros que se observaron en mayor cantidad en el muestreo efectuado en octubre. Al igual que en el muestreo anterior, entre los géneros más abundantes están *Microcystis*, *Anacystis*, *Pediastrum*, sin embargo es importante hacer notar que aparecen *Scenedesmus* abundante principalmente en dos de los puntos evaluados en el Lago de Izabal (Centro del Lago y Mariscos)

Cuadro 9. Géneros más abundantes por punto de muestreo correspondientes al cuarto muestreo.

Punto de Muestreo	División	Género	Nutriente Limitante
Torno de la Virgen	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
Entrada al Golfete	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	
Centro del Gofete	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
Salida del Golfete	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Cosmarium impresulum</i>	
Río Chocón	<i>Chlorophyta</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Scenedesmus bijugus</i>	
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	
Camelias	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
Castillo de San Felipe	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	nitrógeno
	<i>Cyanophyta</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Cosmarium impresulum</i>	
Centro del Lago	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Scenedesmus bijugus</i>	
Mariscos	<i>Cyanophyta</i>	<i>Anacystis</i>	nitrógeno
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
	<i>Chrysophyta</i>	<i>Diatoma</i>	
	<i>Chlorophyta</i>	<i>Scenedesmus bijugus</i>	



### 7.3. Resultados de parámetros físicoquímicos

#### 7.3.1 Profundidad

El cuadro 10 y la gráfica 21 en los anexos presentan los resultados de profundidad en los sitios de muestreo, observándose en general fluctuaciones pequeñas en el lago de Izabal , cuya mayor profundidad se observó en el centro del lago con 14.5 m, mientras que en el río Dulce, la mayor profundidad se observó en el Torno de la virgen, donde no se pudo determinar la profundidad, siendo esta mayor que 25 m.

Cuadro 10. Profundidad en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Profundidad en m			
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre
Livingston	4	2.15	2.15	2.5
Torno de la Virgen	>24	>24	>24	>25
Río Lámpara	6	5.5	5.35	5
Salida del Golfete	6		4.5	2.75
Río Creek Jute	2.75	2.95	2.85	2.5
Río Chocón	11	11.5	12	10.5
Río Bonito	1	2	x	1.21
Centro del Golfete	5	4	4.37	3.5
Puntarenas	2		2.84	2.65
Entrada del Golfete	x	4.28	4.5	4.5
Centro del Lago	14	13.2	14.34	14.5
Mariscos	1.7	1.5	1.7	1.2
Río San Marcos	0.8	0.4		0.45
Castillo de San Felipe	11	10.5	9.5	13.5
Camelias	2.5		3.12	2.5
Oleoducto	8		6.26	3.79
Río Dulce	16	13		2.5

### 7.3.2 Temperatura

En el cuadro 11 y en la gráfica 22 se presentan los resultados de temperatura observados durante los cuatro muestreos. Las mayores temperaturas se observaron en octubre, cuando se alcanzaron valores superiores a 31°C, tanto en el río Dulce como en el lago de Izabal, mientras que las menores temperaturas se observaron durante febrero, cuando solo en el Río Dulce, en Puntarenas y en el río Creek Jute, se superaron los 30°C.

Cuadro 11. Temperatura en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Temperatura °C			
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre
Livingston	28.5	30.9	30.3	31.5
Torno de la Virgen	25	30.9	30.5	31.2
Río Lámpara	22.7	31.1	30.8	31.3
Salida del Golfete	29.4	31	31.5	31.4
Río Creek Jute	30.3	26	31.1	31.1
Río Chocón	26	32	27	31.2
Río Bonito	28.3	31.3	30.4	31.2
Centro del Golfete	29.3	30.7	29.9	30.6
Puntarenas	30.1	31.1	30.3	31.2
Entrada del Golfete	28.1	30.5	30	30.7
Centro del Lago	25	30.2	29.8	30.7
Mariscos	27.8	29.9		31.5
Río San Marcos	27.6	29.9	30.3	30.1
Castillo de San Felipe	28.8	30.6	29.5	30.6
Camelias	28.9	30.2	30.4	31.3
Oleoducto	28.2	30.1	29.9	31.1
Río Dulce	26	1	0	30.8

### 7.3.3 pH

El cuadro 12 y la gráfica 23 presentan los valores de pH en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio. El mayor pH promedio se observó durante febrero con 8.41, mientras que el menor valor se observó durante octubre con 7.82. En cuanto a los sitios de muestreo, el mayor valor promedio se observó en el lago de Izabal, en el centro del lago y en Mariscos, con 8.23. El menor valor promedio se observó en la entrada del golfete, en el río Dulce.

Cuadro 12. pH en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio por sitios y por mes.

Punto de Muestreo	pH				Promedio
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre	
Livingston	8.22	7.84	7.94	7.38	7.85
Torno de la Virgen	8	7.94	8.17	7.64	7.94
Río Lámpara	8.4	8.02	8.05	7.72	8.05
Salida del Golfete	8.4	8.09	7.97	7.84	8.08
Río Creek Jute	8.67	8.13	7.94	7.76	8.13
Río Chocón	8.75	7.8	7.79	7.55	7.97
Río Bonito	8.82	8.08	7.88	7.82	8.15
Centro del Golfete	8.51	7.97	7.92	7.82	8.06
Puntarenas	8.43	8.05	7	7.84	7.83
Entrada del Golfete	6.56	7.94	7.38	7.81	7.42
Centro del Lago	8.76	8.2	7.81	8.13	8.23
Mariscos	8.8	8.07	8.01	8.05	8.23
Río San Marcos	8.51	8.28	7.67	7.73	8.05
Castillo de San Felipe	8.5	8.21	7.87	7.89	8.12
Camelias	8.67	8.32	7.9	7.95	8.21
Oleoducto	8.48	8.15	7.97	7.97	8.14
Río Dulce	8.5	8.15	7.99	7.99	8.16
Promedio	8.41	8.07	7.84	7.82	

### 7.3.4 Conductividad

En cuanto a la conductividad, el cuadro 13 y la grafica 24 presentan los resultados correspondientes a los distintos puntos de muestreo; los valores mayores se observaron durante febrero, cuando en varios sitios de muestreo en el Río Dulce la conductividad observada alcanzó 1290 mS/cm, mientras que la menor conductividad en todos los sitios se observó en agosto, con valores inferiores a 1 mS/cm.

Cuadro 13. Conductividad en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Conductividad uS/cm			
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre
Livingston	4.84	2.1	0.29	378
Torno de la Virgen	3	2	0.28	244
Río Lámpara	1290	1.8	0.26	242
Salida del Golfete	1290	1.8	0.26	235
Río Creek Jute	1290	2	0.26	238
Río Chocón	1290	1.9	0.28	237
Río Bonito	1290	2	0.25	234
Centro del Golfete	1290	1.8	0.26	223
Puntarenas	2	2	0.28	233
Entrada del Golfete	213	2	4	223
Centro del Lago	204	2.5	0.37	214
Mariscos		3	0.34	220
Río San Marcos	197	2.8		213
Castillo de San Felipe	24	184.6		
Camelias	246	1.9		230
Oleoducto	1.7	1.9	0.29	225
Río Dulce	68.9	2	0.29	224

### 7.3.5 Transparencia

El cuadro 14 y la gráfica 25 presentan los resultados de transparencia en los sitios de muestreo, observándose los mayores valores en la mayoría de los sitios, en febrero y mayo, siendo en casi todos los casos superior a 1 m, con la excepción del río San Marcos, en el lago de Izabal.

Cuadro 14. Transparencia en metros, en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Transparencia			
	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	2.25	1.5	1.5	0.8
Torno de la Virgen	3	2.5	1.35	2
Río Lámpara	2	2.38	1.49	2
Salida del Golfete	2	2.5	1.5	1.5
Río Creek Jute	1.75	2.18	1.83	1.5
Río Chocón	1.4	1.84	0.43	1.11
Río Bonito	1	1	1.33	1.21
Centro del Golfete		1.5	0.8	1
Puntarenas	1.22	1.5	1.18	1.45
Entrada del Golfete	1	1.6	1.5	1.45
Centro del Lago	2.55	2.5	2.5	1.7
Mariscos	1.7	1.5	1.7	1.2
Río San Marcos	0.8	0.4		0.3
Castillo de San Felipe	1.95	2.26	2.24	2.5
Camelias	1.54	1.23		1.28
Oleoducto	1.5		2	1.75
Río Dulce	2	2.24		2.5

### 7.3.6 Sólidos totales

El cuadro 15 y la gráfica 26 presentan los resultados de sólidos totales en los sitios de muestreo. En mayo se observó la mayor concentración promedio de sólidos totales para todos los sitios de muestreo, mientras que la menor se observó en octubre, siendo menor a 0.02 g/100 mL. De los sitios de muestreo superficiales, fue Livingston el que presentó el mayor valor promedio con 0.4053 g/100 mL, mientras que el centro del lago de Izabal presentó el menor valor promedio con 0.0116 g/100 mL.

Cuadro 15. Sólidos totales en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Sólidos Totales gr / 100 mL				Promedio
	febrero	mayo	agosto	octubre	
Livingston	0.6164	0.9616	0.0161	0.0269	0.4053
Livingston P	2.4084	3.6402	1.6131	0.0692	1.9327
Torno de la Virgen	0.217	0.61	0.0125	0.0167	0.2140
Torno de la Virgen P	3.0909	3.2683	0.0115	0.0183	1.5973
Río Lámpara	0.0478	0.4748	0.0117	0.0158	0.1375
Salida del Golfete	0.0284	0.4534	0.0116	0.0159	0.1273
Río Creek Jute	0.0275	0.025	0.0113	0.0149	0.0197
Río Chocón	0.0194	0.1326	0.0114	0.0139	0.0443
Río Chocon P	.	0.939	0.0105	0.0188	0.3228
Río Bonito	0.0095	0.1192	0.0113	0.0153	0.0388
Centro del Golfete	0.011	0.12	0.0117	0.0146	0.0393
Centro del Golfete P	.	1.0726	0.0114	0.0139	0.3660
Puntarenas	0.0138	0.0297	0.0101	0.0149	0.0171
Entrada del Golfete	.	0.0401	0.0137	0.015	0.0229
Centro del Lago	0.0147	0.0048	0.0134	0.0135	0.0116
Centro del Lago P	0.0147	0.0635	0.0137	0.0127	0.0262
Mariscos	0.0094	0.0134	0.0132	0.0134	0.0123
Mariscos P	0.0148	0.012	0.013	0.0156	0.0138
Río San Marcos	0.0135	0.0126	0.0149	0.0148	0.0139
Castillo de San Felipe	0.0117	0.0152	0.0117	0.0136	0.0130
Castillo de San Felipe P	0.0147	0.0143	0.0145	0.013	0.0141
Camelias	0.0156	0.0202	0.0119	0.0144	0.0155
Camelias P	0.0084	0.0261	0.0146	0.0148	0.0160
Oleoducto	0.0102	0.0201	0.0099	0.0134	0.0134
Río Dulce	0.011	0.0067	0.03478	0.0135	0.0165
Río Dulce P	0.0106	0.0104	0.013	0.013	0.0118
Promedio	0.2887	0.4656	0.0749	0.0173	

### 7.3.7 Sólidos filtrables

El cuadro 16 y la gráfica 27 presentan los resultados de sólidos filtrables. El mayor valor promedio para todos los puntos se observó en mayo con 0.130 g/L mientras que el menor en octubre con 0.006 g/L. En cuanto a los sitios de muestreo, Río Dulce presentó el mayor valor promedio con 0.293 g/L y el centro del lago el menor valor promedio con 0.002 g/L.

Cuadro 16. Sólidos filtrables en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Sólidos Filtrables gr / L				Promedio
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre	
Livingston	0.186	0.048	0.037	0.011	0.071
Livingston P	0.03	0.207	0.02	0.015	0.068
Torno de la Virgen	0.016	0.036	0.01	0.002	0.016
Torno de la Virgen P	0.09	0.097	0.002	0.001	0.048
Río Lámpara	0.007	0.02	0.001	0.001	0.007
Salida del Golfete	0.005	0.014	0.005	0.001	0.006
Río Creek Jute	0.013	0.005	0.001	0.002	0.005
Río Chocón	0.009	0.003	0.001	0.002	0.004
Río Chocón P	x	0.228	0.002	0.031	0.087
Río Bonito	0.006	0.007	0	0.001	0.004
Centro del Golfete	0.008	0.01	0.039	0.007	0.016
Centro del Golfete P	x	0.22	0.006	0.007	0.078
Puntarenas	0.022	0.019	0.001	0.004	0.012
Entrada del Golfete	0.034	0.006	0.004	0.004	0.012
Centro del Lago	0.003	0.003	0	0.001	0.002
Centro del Lago P	0.005	0.348	0	0.002	0.089
Mariscos	0.003	0.002	0.004	0.001	0.003
Mariscos P	0.001	0.01	0.001	0.003	0.004
Río San Marcos	0.006	0.002	0	0.01	0.004
Castillo de San Felipe	0.012	0.004	0	0.001	0.004
Castillo de San Felipe P	0.002	0.376	0.001	0.002	0.095
Camelias	0.004	0.588	0.003	0.002	0.149
Camelias P	x	0.05	0.002	0.002	0.018
Oleoducto	0.004	0.029	0.004	0.002	0.010
Río Dulce	0.001	1.166	0.001	0.002	0.293
Río Dulce P	0.001	0.008	0.001	0.001	0.003
Promedio	0.020	0.130	0.006	0.005	

### 7.3.8 Sólidos suspendidos

El cuadro 17 y la gráfica 28 presentan los resultados de sólidos suspendidos. El mayor valor promedio para todos los puntos se observó en mayo con 0.5928 g/100 mL mientras que el menor en octubre con 0.0133 g/100 mL. En cuanto a los sitios de muestreo, Livingston presentó el mayor valor promedio entre los sitios superficiales, con 1.1353 g/L y el castillo de San Felipe el menor valor promedio con 0.0109 g/L.

Cuadro 17. Sólidos suspendidos en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendidos gr / 100 mL				Promedio
	febrero	mayo	agosto	octubre	
Livingston	3.5341	0.9651	0.0203	0.0218	1.1353
Livingston P	0.511	3.9312	1.40653	0.0674	1.4790
Torno de la Virgen	0.2232	0.4631	0.0228	0.0123	0.1804
Torno de la Virgen P	3.1182	3.4637	0.7056	0.0112	1.8247
Río Lámpara	0.0615	0.5186	0.0135	0.0113	0.1512
Salida del Golfete	0.0351	0.3949	0.0127	0.0111	0.1134
Río Creek Jute	0.0332	0.0333	0.0114	0.0116	0.0224
Río Chocón	0.0178	0.1033	0.0029	0.0101	0.0335
Río Chocón P	x	0.1481	0.0112	0	0.0531
Río Bonito	0.015	0.939	0.0129	0.011	0.2445
Centro del Golfete	0.0118	0.1574	0.0127	0.0114	0.0483
Centro del Golfete P	x	1.0647	0.014	0.0215	0.3667
Puntarenas	0.0005	0.0206	0.0127	0.0108	0.0112
Entrada del Golfete	0.5182	0.0215	0.0138	0.0116	0.1413
Centro del Lago	0.0086	0.0126	0.0137	0.0113	0.0115
Centro del Lago P	0.0106	0.0156	0.0148	0.0097	0.0127
Mariscos	0.0139	0.0099	0.0149	0.0098	0.0121
Mariscos P	0.0148	0.012	0.0127	0.0108	0.0126
Río San Marcos	0.0144	0.0104	0.0131	0.0093	0.0118
Castillo de San Felipe	0.0063	0.0116	0.0154	0.0103	0.0109
Castillo de San Felipe P	0.0094	0.02	0.0158	0.0106	0.0140
Camelias	0.0053	0.0319	0.0168	0.011	0.0162
Camelias P	2.9822	3.0237	0.0083	0.0091	1.5058
Oleoducto	0.0289	0.0202	0.0203	0.0102	0.0199
Río Dulce	0.01	0.0101	0.0169	0.0109	0.0120
Río Dulce P	0.0248	0.011	0.0158	0.0101	0.0154
Promedio	0.4670	0.5928	0.0943	0.0133	



### 7. 3.9 Nutrientes

#### 7.3.9.1 Nitrógeno total

El cuadro 18 presenta las concentraciones de nitrógeno total para todos los sitios de muestreo. La mayor concentración promedio se observó durante octubre con 13.4594 mg/L y la menor en febrero con 4.4345 mg/L. Entre los sitios, los afluentes del Río Dulce presentaron las mayores concentraciones promedio, siendo superiores a 14 mg/L, en cuanto a los sitios de muestreo, Mariscos y centro del lago presentaron las menores concentraciones promedio, con aproximadamente 4 mg/L.

Cuadro 18. Concentraciones de nitrógeno total en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Nitrogeno Total				Promedio
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre	
Livingston	10.0000	9.2857	12.3810	0.0794	7.9365
Livingston P	6.4286	0.0000	0.0000	x	2.1429
Torno de la Virgen	10.0000	10.0000	1.1905	3.8889	6.2698
Torno de la Virgen P	8.5714	9.0476	2.1429	x	6.5873
Río Lámpara	9.2857	8.8095	7.1429	31.4286	14.1667
Salida del Golfete	11.4286	11.4286	3.3333	17.7778	10.9921
Río Creek Jute	7.8571	6.4286	2.3810	39.6825	14.0873
Río Chocón	10.7143	8.5714	1.4286	36.1111	14.2063
Río Chocón P	x	27.1429	5.0000	x	16.0714
Río Bonito	5.7143	7.1429	3.0952	12.6190	7.1429
Centro del Golfete	2.1429	0.7143	4.5238	9.9206	4.3254
Centro del Golfete P	x	0.0000	1.4286	x	0.7143
Puntarenas	3.5714	7.8571	2.8571	4.7619	4.7619
Entrada del Golfete	7.1429	6.4286	3.5714	1.3492	4.6230
Centro del Lago	4.2857	7.1429	5.0000	0.0000	4.1071
Centro del Lago P	7.1429	0.0000	4.7619	x	3.9683
Mariscos	2.1429	7.1429	2.6190	4.3651	4.0675
Mariscos P	0.0000	6.1905	5.2381	x	3.8095
Río San Marcos	0.0000	7.8571	5.4762	21.1905	8.6310
Castillo de San Felipe	0.0000	10.0000	10.0000	13.8889	8.4722
Castillo de San Felipe P	0.0000	7.8571	20.9524	x	9.6032
Camelias	0.0000	5.7143	6.4286	17.6984	7.4603
Camelias P	0.0000	4.2857	1.9048	x	2.0635
Oleoducto	0.0000	5.7143	12.3810	5.7143	5.9524
Río Dulce	0.0000	7.8571	7.1429	8.3333	5.8333
Río Dulce P	0.0000	7.1429	4.2857	x	3.8095
Promedio	4.4345	7.2985	5.2564	13.4594	

### 7.3.9.2 Nitrógeno de nitratos

El cuadro 19 presenta las concentraciones de nitrógeno de nitratos, observándose el mayor valor promedio durante mayo y el menor durante febrero. El sitio superficial con la mayor concentración promedio fue Creek Jute con 0.29 mg/L y el que presentó la menor concentración fue entrada del golfete con 0.11 mg/L.

Cuadro 19. Concentraciones de nitrógeno de nitratos en mg/l en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Nitrógeno de nitratos				Promedio
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre	
	NO3-N HR	NO3-N HR	NO3-N HR	NO3-N HR	
Livingston	0	0.4	0.23	0.23	0.22
Livingston P	0	0.5	0.07	0.13	0.18
Torno de la Virgen	0.2	0.4	0.33	0.10	0.26
Torno de la Virgen P	0	0.8	0.23	0.37	0.35
Río Lámpara	0.2	0.4	0.13	0.23	0.24
Salida del Golfete	0.1	0.3	0.33	0.20	0.23
Río Creek Jute	0.2	0.6	0.17	0.20	0.29
Río Chocón	0.2	0.2	0.20	0.20	0.20
Río Chocón P		0.7	0.03	0.10	0.28
Río Bonito	0.1	0.3	0.20	0.17	0.19
Centro del Golfete	0	0.2	0.27	0.10	0.14
Centro del Golfete P			0.17	0.17	0.17
Puntarenas	0.2	0.3	0.17	0.20	0.22
Entrada del Golfete	0	0.2	0.10	0.13	0.11
Centro del Lago	0.3	0.2	0.00	0.17	0.17
Centro del Lago P	0.2		0.17	0.17	0.18
Mariscos	0.1	0.3	0.10	0.17	0.17
Mariscos P	0.1	0.3	0.23	0.17	0.20
Río San Marcos	0.1	0.4	0.03	0.20	0.18
Castillo de San Felipe	0.1	0.3	0.17	0.10	0.17
Castillo de San Felipe P	0.2	0.4	0.13	0.10	0.21
Camelias	0.2	0.2	0.20	0.13	0.18
Camelias P	0.1	0.3	0.13	0.20	0.18
Oleoducto	0.3	0.3	0.20	0.10	0.23
Río Dulce	0.2	0.1	0.17	0.17	0.16
Río Dulce P		0.3	0.20	0.17	0.22
Promedio	0.13	0.35	0.17	0.17	

### 7.3.9.3 Nitrógeno de nitritos

El cuadro 20 presenta las concentraciones de nitrógeno de nitritos durante los cuatro muestreos, en todos los sitios. En mayo se observó la mayor oconcentración promedio con 0.010 mg/L y la menor en octubre con 0.002 mg/L. entre los sitios de muestreo superficiales, Mariscos presentó la mayor concentración promedio con 0.021 mg/L, mientras que el río Bonito y el río Chocón presentaron la menor concentración promedio con 0.001 mg/L.

Cuadro 20. Concentraciones de nitrógeno de nitritos en mg/L durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Nitrógeno de nitritos				Promedio
	Feb	May	Ago	Oct	
Livinston	0.002	0.028	0.003	0.002	0.009
Livinston P	x	0.002	0.003	0.002	0.002
Torno de la Virgen	0.002	0.012	0.002	0.001	0.004
Torno de la Virgen P	x	0.028	0.002	0.002	0.011
Río Lampara	0.002	0.005	0.002	0.003	0.003
Salida del Golfete	0.001	0.003	0.002	0.000	0.002
Río Crique Jute	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
Río Chocon	0	0.003	0.001	0.002	0.001
Río Chocon P	x	0.042	0.001	0.005	0.016
Río Bonito	0	0.002	0.003	0.001	0.001
Centro del Golfete	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
Centro del Golfete P	x	0.059	0.003	0.000	0.021
Puntarenas	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002
Entrada del Golfete	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Centro del Lago	0	0.003	0.003	0.004	0.002
Centro del Lago P	x	0.003	0.002	0.001	0.002
Mariscos	0.002	0.042	0.036	0.003	0.021
Mariscos P	x	0.002	0.003	0.002	0.002
Río San Marcos	0.008	0.001	0.002	0.004	0.004
Castillo de San Felipe	0.009	0.003	0.002	0.002	0.004
Castillo de San Felipe P	x	0.001	0.002	0.002	0.001
Camelias	0.014	0.003	0.001	0.002	0.005
Camelias P	x	0.001	0.003	0.003	0.002
Oleoducto	0.029	0.003	0.002	0.001	0.009
Río Dulce	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Río Dulce P	x	0.001	0.001	0.001	0.001
Estor	x		0.002	0.002	0.002
Promedio	0.005	0.010	0.003	0.002	

### 7.3.9.4 Nitrógeno de amonio

El cuadro 21 presenta las concentraciones de nitrógeno de amonio, observándose concentraciones bajas de dicho parámetro. En general, en febrero se observaron las mayores concentraciones, con Puntarenas con el máximo de 0.08 mg/L, las menores concentraciones se observaron en octubre, cuando en la mayor parte de los sitios no se detectó amonio.

Cuadro 21. Concentraciones de nitrógeno de amonio en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de muestreo	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	0.01	0.03	ND	ND
Livingston P	0.00	0.01	ND	ND
Torno de la Virgen	0.07	0.01	0.01	0.00
Torno de la Virgen P	x	0.00	0.00	0.00
Río Lámpara	0.01	0.01	0.01	0.02
Salida del Golfete	0.00	0.03	0.02	0.00
Río Creek Jute	0.02	0.02	0.00	0.01
Río Chocón	0.07	0.01	0.00	0.01
Río Chocón P	x	0.00	0.00	0.00
Río Bonito	0.01	0.01	0.01	ND
Centro del Golfete	0.03	0.02	0.00	ND
Centro del Golfete P	x	0.00	0.00	0.01
Puntarenas	0.08	0.03	0.01	0.02
Entrada del Golfete	0.02	0.01	0.01	0.00
Centro del Lago	0.01	0.01	0.01	0.00
Centro del Lago P	0.00	0.00	0.00	0.00
Mariscos	0.01	0.00	0.00	ND
Mariscos P	0.01	0.01	0.01	ND
Río San Marcos	0.01	0.01	0.01	ND
Castillo de San Felipe	0.01	0.01	0.02	0.01
Castillo de San Felipe P	0.02	0.02	0.00	0.00
Camelias	0.02	0.02	0.01	0.00
Camelias P	0.01	0.01	0.00	ND
Oleoducto	0.02	0.03	0.01	ND
Río Dulce	0.02	0.02	0.00	ND
Río Dulce P	0.00	0.00	0.00	ND

ND: no determinado.

0.00 = no detectado

### 7.3.9.5 Fósforo total

El cuadro 22 presenta los resultados de fósforo total, observándose la mayor concentración promedio en octubre con una valor superior a 7 mg/L, mientras que la menor se observó en febrero, siendo menor a 1 mg/L. En cuanto a los sitios de muestreo superficiales, los mayores valores se observaron en el oleoducto, en el castillo de San Felipe y en Livingston con valores mayores que 4 mg/l. El sitio que presentó la menor concentración promedio fue el río Dulce, en el Torno de la Virgen con 1.5932 mg/L.

Cuadro 22. Concentraciones de fósforo total en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	Fósforo Total				Promedio
	Febrero	Mayo	Agosto	octubre	
Livingston	0.2139	1.9155	12.3810	4.3385	4.7122
Livingston P	0.5887	1.3495	x	9.1502	3.6961
Torno de la Virgen	0.3352	1.0775	1.1905	3.7695	1.5932
Torno de la Virgen P	x	1.4487	2.1429	12.5864	5.3927
Río Lámpara	0.3164	1.1180	7.1429	3.5741	3.0378
Salida del Golfete	0.2131	1.3275	3.3333	4.2325	2.2766
Río Creek Jute	0.2789	1.7685	2.3810	3.4990	1.9818
Río Chocón	0.5981	1.0518	1.4286	4.7058	1.9461
Río Chocón P	x	4.0176	5.0000	x	4.5088
Río Bonito	0.7202	0.9416	3.0952	3.1934	1.9876
Centro del Golfete	0.7108	1.1951	4.5238	6.9280	3.3394
Centro del Golfete P	x	4.5579	1.4286	16.2284	7.4049
Puntarenas	1.7249	1.8236	2.8571	6.0329	3.1096
Entrada del Golfete	0.7859	1.7574	3.5714	4.7675	2.7206
Centro del Lago	0.3822	1.9228	5.0000	7.8025	3.7769
Centro del Lago P	0.5230	21.9669	4.7619	22.1543	12.3515
Mariscos	0.3915	1.0187	2.6190	4.9218	2.2378
Mariscos P	0.4854	1.2613	5.2381	8.4300	3.8537
Río San Marcos	0.2038	1.4708	5.4762	5.0967	3.0619
Castillo de San Felipe	1.0113	0.6329	10.0000	6.2438	4.4720
Castillo de San Felipe P	2.3540	1.2062	20.9524	7.3807	7.9733
Camelias	1.0394	0.6218	6.4286	2.7202	2.7025
Camelias P	1.1803	0.8423	1.9048	14.5412	4.6171
Oleoducto	2.4761	0.4454	12.3810	3.7490	4.7629
Río Dulce	1.8282	0.4785	7.1429	3.8210	3.3176
Río Dulce P	1.0113	0.7321	4.2857	5.3333	2.8406
Promedio	0.8423	2.2288	5.4667	7.0080	

### 7.3.9.6 Fósforo de ortofosfato

El cuadro 23 presenta las concentraciones de fósforo de ortofosfato. En octubre se observó la mayor concentración promedio con 0.129 mg/L, mientras que en febrero se observó la menor concentración promedio con 0.023 mg/L. En cuanto a los sitios de muestreo, el río Creek Jute presentó la mayor concentración promedio con 0.204 mg/L, mientras que el Torno de la Virgen presentó la menor concentración promedio con 0.027 mg/L.

Cuadro 23. Concentraciones de fósforo de ortofosfato en mg/l en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio y valores promedio.

Punto de Muestreo	fósforo de ortofosfato				Promedio
	feb	mayo	agosto	octubre	
	P-PV	P-PV	P-PV	P-PV	
Livingston	0.020	0.060	0.077	0.030	0.047
Livingston P		0.010	0.093	0.020	0.041
Torno de la Virgen	0.010	0.010	0.027	0.060	0.027
Torno de la Virgen P		0.040	0.030	0.120	0.063
Río Lámpara	0.010	0.020	0.077	0.040	0.037
Salida del Golfete	0.040	0.010	0.057	0.160	0.067
Río Creek Jute		0.040	0.053	0.520	0.204
Río Chocón	0.030	0.060	0.017	0.070	0.044
Río Chocón P		0.030	0.023	0.060	0.038
Río Bonito	0.090	0.110	0.040	0.390	0.158
Centro del Golfete	0.010	0.040	0.063	0.050	0.041
Centro del Golfete P		0.030	0.110	0.080	0.073
Puntarenas	0.090	0.070	0.043	0.170	0.093
Entrada del Golfete		0.100	0.103	0.070	0.091
Centro del Lago	0.000	0.050	0.057	0.190	0.074
Centro del Lago P	0.000	0.030	0.083	0.100	0.053
Mariscos	0.030	0.060	0.070	0.110	0.068
Mariscos P	0.000	0.060	0.077	0.110	0.062
Río San Marcos	0.000	0.040	0.077	0.140	0.064
Castillo de San Felipe	0.010	0.020	0.117	0.110	0.064
Castillo de San Felipe P	0.040	0.010	0.040	0.150	0.060
Camelias	0.000	0.100	0.057	0.100	0.064
Camelias P	0.030	0.030	0.083	0.150	0.073
Oleoducto	0.010	0.040	0.080	0.100	0.058
Río Dulce	0.000	0.070	0.053	0.170	0.073
Río Dulce P	0.040	0.030	0.090	0.080	0.060
Promedio	0.023	0.045	0.065	0.129	

### **7.3.9.7 Análisis estadístico para determinar diferencias significativas entre grupos de sitios de muestre de lago de Izabal, Río Dulce y afluentes del Río Dulce**

En el cuadro 24 se sintetizan los resultados del análisis estadístico para la determinación de diferencias significativas entre los grupos de sitios de muestreo en el lago de Izabal, Río Dulce y afluentes del río Dulce.

Grupo 1, lago de Izabal: centro del lago, Mariscos, Río San Marcos, Castillo de San Felipe.

Grupo 2: Río Dulce: Fronteras, Camelias, Oleoducto, entrada golfete, centro golfete, Puntarenas, salida golfete, torno de la virgen, Livingston.

Grupo 3: Río Bonito, Río Lámpara, Río Chocón y río Creek Jute.

El análisis se llevó a cabo utilizando el paquete STATA ver 7.0. Se llevo a cabo un análisis de varianza no paramétrico (Kruskall Wallis), ya que los datos no llenaban los criterios para hacer un análisis paramétrico. En cada caso se compararon los tres puntos de muestreo: Lago, Rio Dulce y Afluentes. Cuando hubo diferencia significativa, con un nivel de confianza del 95%, se llevo a cabo la prueba múltiple de medias de Scheffé.

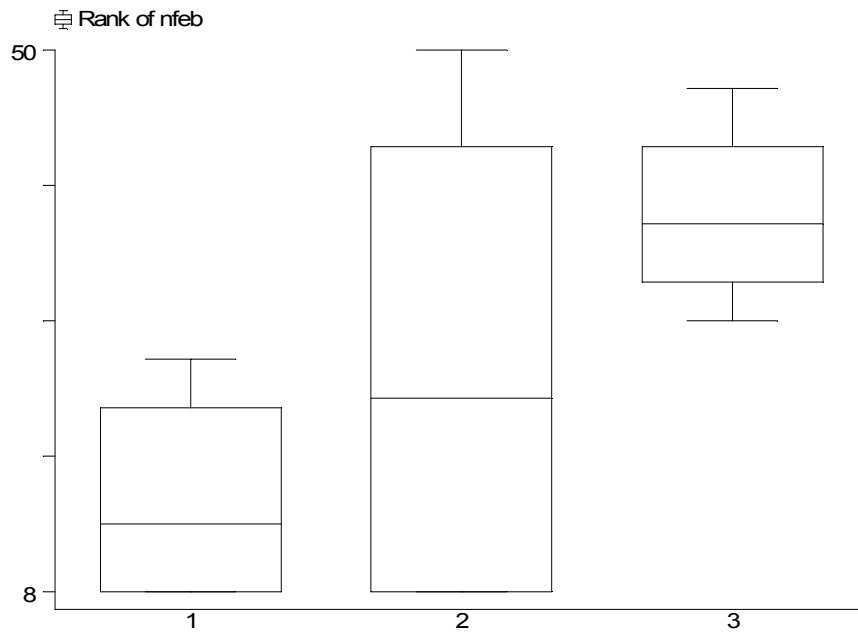
También se hizo un análisis gráfico, utilizando los datos en rango, para ello se construyeron los diagramas de caja, cuya función es comparar los valores medios expresados como Percentil 50, así mismo evidenciar la dispersión de los datos, a través de graficar el P25 y el P75.

Las gráficas 13 a la 20 esquematizan las comparaciones de las medias y la dispersión de los resultados por grupos, de acuerdo con el análisis efectuado.

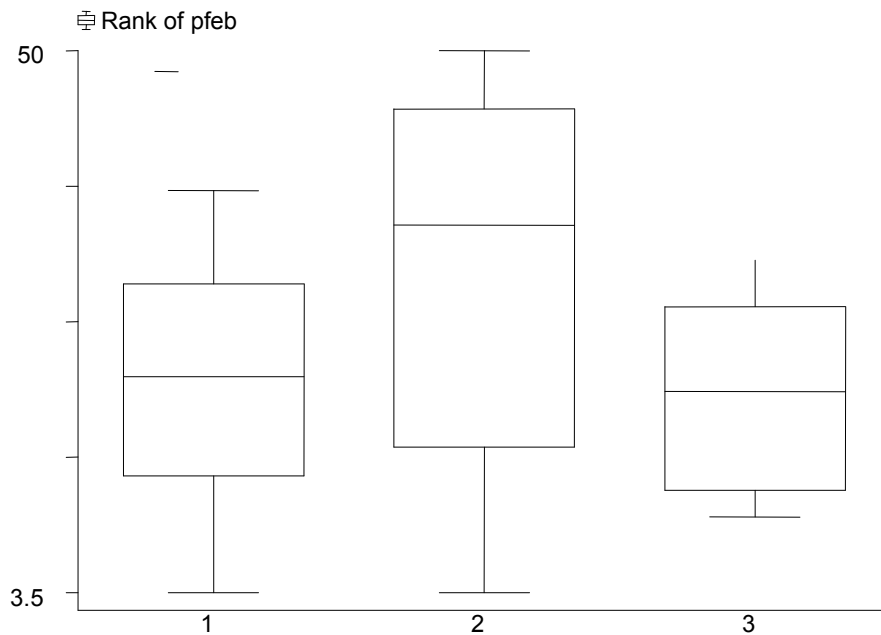
Cuadro 24. Significancia de las diferencias entre las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total entre los grupos de sitios de muestreo de lago de Izabal, Río Dulce y afluentes de Río Dulce.

<b>Mes de estudio</b>	<b>Nitrógeno total</b>	<b>Fósforo total</b>
Febrero	No hay diferencia significativa entre Río Dulce y Lago de Izabal. Si hay diferencia significativa entre Lago de Izabal y afluentes de Río Dulce y entre Río Dulce y sus afluentes.	No hay diferencia significativa entre los grupos.
Mayo	No hay diferencia significativa entre los grupos.	No hay diferencia significativa entre los grupos.
Agosto	No diferencia significativa entre Lago de Izabal y Río Dulce, ni entre Lago de Izabal y afluentes de Río Dulce. Si hay diferencia significativa entre Río Dulce y sus afluentes.	No hay diferencia significativa entre Río Dulce y Lago de Izabal. Si hay diferencia significativa entre Lago de Izabal y afluentes de Río Dulce y entre Río Dulce y sus afluentes.
Octubre	No diferencia significativa entre Lago de Izabal y Río Dulce, ni entre Lago de Izabal y afluentes de Río Dulce. Si hay diferencia significativa entre Río Dulce y sus afluentes.	No hay diferencia significativa entre los grupos.

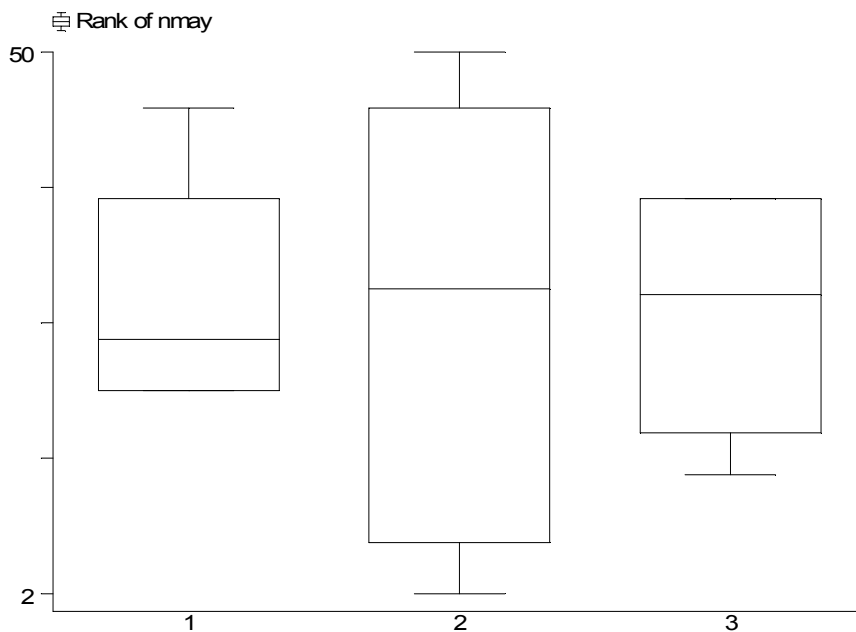




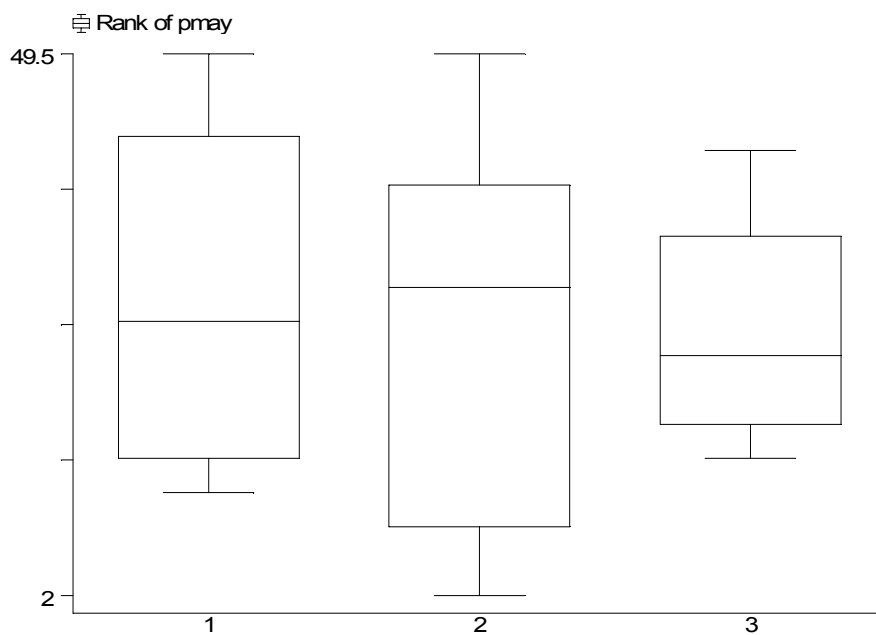
Gráfica 13. Medias y dispersión de concentraciones de nitrógeno total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante febrero: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



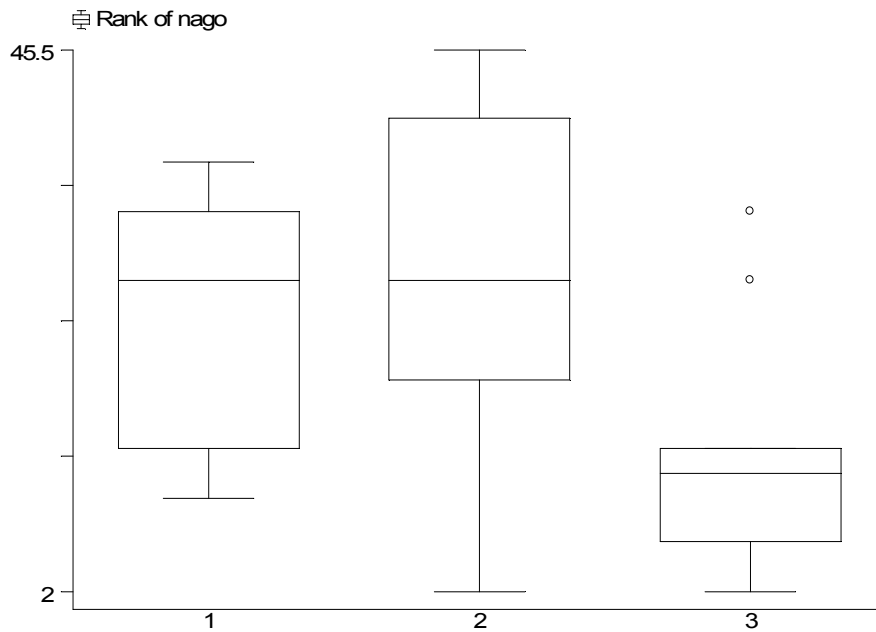
Gráfica 14. Medias y dispersión de concentraciones de fósforo total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante febrero: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



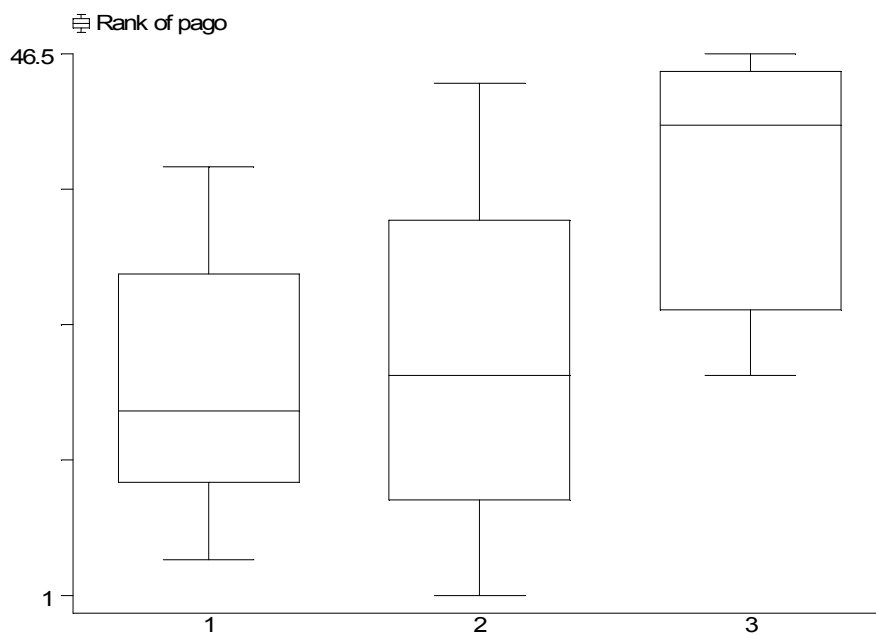
Gráfica 15. Medias y dispersión de concentraciones de nitrógeno total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante mayo: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



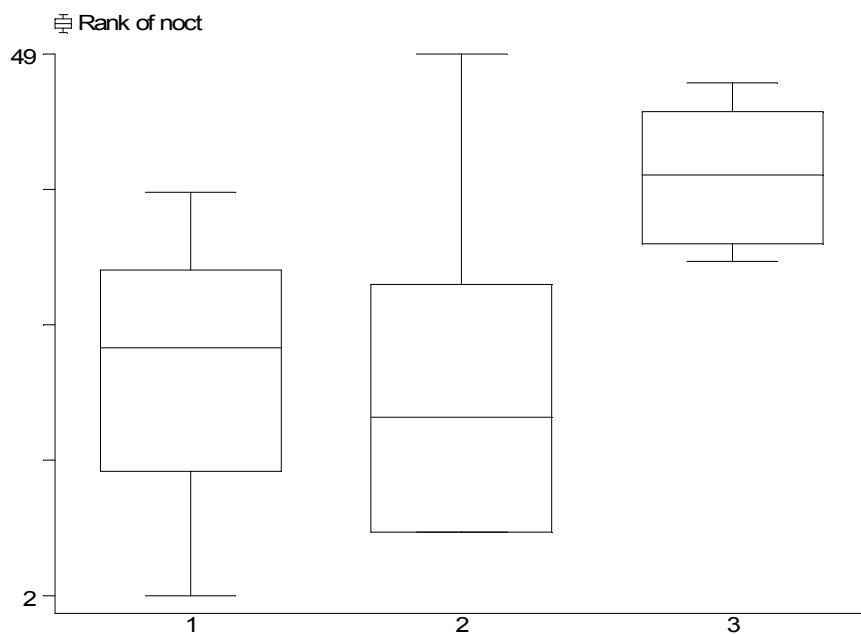
Gráfica 16. Medias y dispersión de concentraciones de fósforo total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante mayo: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



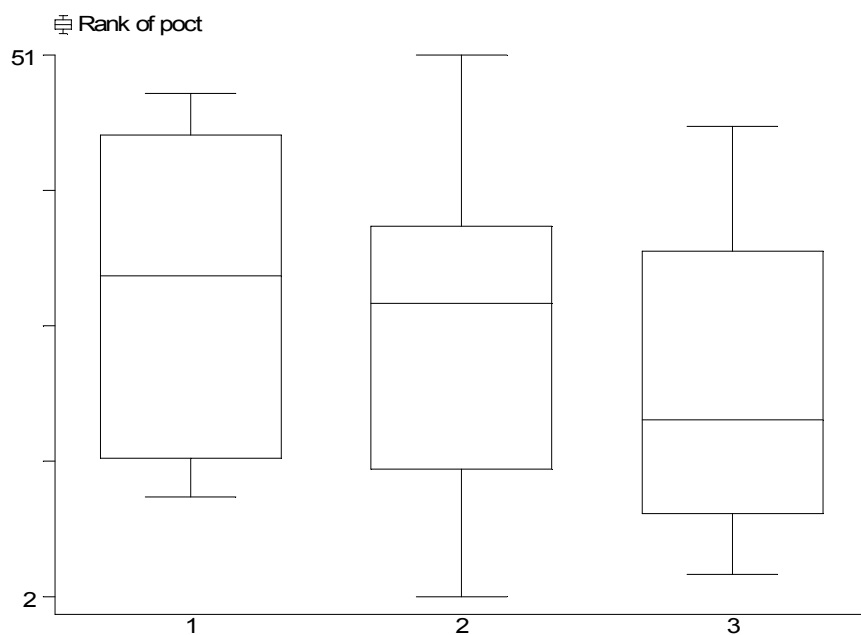
Gráfica 17. Medias y dispersión de concentraciones de nitrógeno total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante agosto: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



Gráfica 18. Medias y dispersión de concentraciones de fósforo total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante agosto: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



Gráfica 19. Medias y dispersión de concentraciones de nitrógeno total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante octubre: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.



Gráfica 20. Medias y dispersión de concentraciones de fósforo total entre los tres grupos de sitios de muestreo durante octubre: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes del Río Dulce.

### 7.3.10 Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno

El cuadro 24 presenta los resultados de demanda bioquímica de oxígeno. Los valores más altos se observaron durante febrero en el río Dulce, en los sitios de Río Dulce, oleoducto, Camelias, Puntarenas y entrada del golfete. Por otra parte, el mayor valor en los sitios de muestreo se observó en Puntarenas en octubre, con 63 mg/L.

Cuadro 24. Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de muestreo	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	9	6	15	12
Livingston P	9	6	3	60
Torno de la Virgen	3	6	6	9
Torno de la Virgen P	33	6	9	3
Río Lámpara	0	3	3	12
Salida del Golfete	0	6	9	54
Río Creek Jute	4.5	12	18	6
Río Chocón	3	12	9	15
Río Chocón P	x	9	6	3
Río Bonito	1.5	15	9	13.5
Centro del Golfete	0	12	9	6
Centro del Golfete P	x	12	9	6
Puntarenas	18	18	12	63
Entrada del Golfete	18	3	3	6
Centro del Lago	3	6	6	3
Centro del Lago P	3	6	6	3
Mariscos	6	9	9	3
Mariscos P	9	6	6	12
Río San Marcos	0	9	12	12
Castillo de San Felipe	3	9	6	3
Castillo de San Felipe P	18	12	12	9
Camelias	19.5	9	9	6
Camelias P	16.5	6	9	6
Oleoducto	22.5	9	9	6
Río Dulce	19.5	9	9	6
Río Dulce P	9	6	9	3

El cuadro 25 presenta los resultados de demanda química de oxígeno, habiéndose observado los mayores valores en febrero y mayo, cuando se observaron valores superiores a 1000 mg/L.

Cuadro 25. Demanda Química de Oxígeno en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

<b>Punto de muestreo</b>	<b>febrero</b>	<b>mayo</b>	<b>agosto</b>	<b>octubre</b>
Livingston	93.0	92.0	136.7	5.0
Livingston P	581.0	1645.0	256.7	0.0
Torno de la Virgen	1150.0	88.8	8.0	1.3
Torno de la Virgen P	14.0	1491.0	5.0	5.0
Río Lámpara	0.0	61.0	67.0	67.0
Salida del Golfete	0.0	47.0	76.0	76.0
Río Creek Jute	5.0	1.0	5.6	5.6
Río Chocón	0.6	1.0	22.0	22.0
Río Chocón P	x	218.0	62.0	62.0
Río Bonito	0.0	7.0	17.0	17.0
Centro del Golfete	0.0	4.0	8.7	8.7
Centro del Golfete P	x	x	7.3	7.3
Puntarenas	0.0	49.0	61.0	61.0
Entrada del Golfete	3.0	0.0	8.0	8.0
Centro del Lago	1.0	1.0	10.7	10.7
Centro del Lago P	1.0	57.0	13.0	13.0
Mariscos	0.0	2.0	25.7	25.7
Mariscos P	0.0	0.0	84.0	84.0
Río San Marcos	0.0	3.0	30.7	30.7
Castillo de San Felipe	4.0	2.0	25.0	25.0
Castillo de San Felipe P	0.0	1.0	29.0	29.0
Camelias	0.0	0.0	30.0	30.0
Camelias P	0.0	0.0	28.0	28.0
Oleoducto	0.0	0.0	26.0	26.0
Río Dulce	0.0	0.0	27.7	27.7
Río Dulce P	65.0	0.0	38.0	38.0

### 7.3.11 Metales

El cuadro 26 presenta los resultados de zinc, analizado por absorción atómica. En los sitios ubicados en el lago de Izabal (Castillo de San Felipe, centro del lago) se observó mayor frecuencia de presencia de zinc, mientras que en el río dulce los mayores valores se observaron en Camelias.

Cuadro 26. Concentración de zinc en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Zinc			
	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	0	0	0	0.3
Torno de la Virgen	0.1	0.1	0.1	0
Río Lámpara	0.1	0	0.1	0
Salida del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Creek Jute	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Chocón	0	0	0.1	0
Río Bonito	0.1	0	0.2	0
Centro del Golfete	0	0	0.1	0
Puntarenas	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Entrada del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Centro del Lago	0.3	0.1	0.3	0
Mariscos	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río San Marcos	0.1	0	0.1	0.1
Castillo de San Felipe	0.1	0.3	0.2	0.1
Camelias	0.2	0.1	0	0.2
Oleoducto	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Dulce	0.1	0	0	0

N.M. = No medido.

El cuadro 27 presenta los resultados de concentración de cobre en los sitios de muestreo. Únicamente en octubre se detectó dicho metal, en el río dulce, con la mayor concentración en Livingston, siendo los otros dos sitios, el torno de la virgen y el río Lámpara.

Cuadro 27. Concentración de cobre en mg/l en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Cobre			
	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	0	0	0	1.2
Torno de la Virgen	0	0	0	0.1
Río Lámpara	0	0	0	0.1
Salida del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Creek Jute	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Chocón	0	0	0	0
Río Bonito	0	0	0	0
Centro del Golfete	0	0	0	0
Puntarenas	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Entrada del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Centro del Lago	0	0	0	0
Mariscos	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río San Marcos	0	0	0	0
Castillo de San Felipe	0	0	0	0
Camelias	0	0	0	0
Oleoducto	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Dulce	0	0	0	0

N.M. = No medido



En el cuadro 28 se presentan las concentraciones de manganeso en los sitios de muestreo. Las concentraciones de manganeso encontradas no superaron en ningún sitio el valor de 0.2 mg/L, el cual únicamente se observó durante agosto en Livingston y en el centro del golfete.

Cuadro 28. Concentración de manganeso en mg/l en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Manganeso			
	febrero	mayo	agosto	octubre
Livingston	0	0	0.2	0.1
Torno de la Virgen	0	0.1	0.1	0
Río Lámpara	0	0.1	0.1	0
Salida del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Creek Jute	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Chocón	0	0.1	0.1	0
Río Bonito	0	0.1	0.1	0
Centro del Golfete	0.1	0.1	0.2	0
Puntarenas	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Entrada del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Centro del Lago	0	0.1	0.1	0
Mariscos	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río San Marcos	0	0	0.1	0.1
Castillo de San Felipe	0	0	0.1	0
Camelias	0	0	0.1	0
Oleoducto	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Dulce	0	0	0	0

N.M. = No medido.

El cuadro 29 presenta los resultados de hierro en los sitios de muestreo. Las mayores concentraciones se observaron en agosto, habiéndose observado concentraciones superiores a 0.3 mg/L por lo menos en dos sitios cada mes. En el lago de Izabal, el río San Marcos presentó las mayores concentraciones.

Cuadro 29. Concentración de hierro en mg/L en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio.

Punto de Muestreo	Hierro			
	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
Livingston	0.1	0.2	1.4	0
Torno de la Virgen	0.2	0.2	0.5	0.1
Río Lampara	0.3	0	0.5	0
Salida del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Creek Jute	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Chocón	0.5	0.1	0.7	1.1
Río Bonito	0.4	0.4	0.4	0
Centro del Golfete	0.3	0.1	0.6	0.1
Puntarenas	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Entrada del Golfete	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Centro del Lago	0	0.4	0	0.3
Mariscos	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río San Marcos	0.2	0.8	0.8	0.3
Castillo de San Felipe	0.1	0.1	0.1	0.1
Camelias	0.2	0.3	0.5	0.1
Oleoducto	N.M.	N.M.	N.M.	N.M.
Río Dulce	0.5	0	0	0.8

N.M. = No medido

En cuanto al plomo, no se detectó en ningún sitio de muestreo, con un límite de detección de 1 mg/L por método espectrofotométrico.

### **7.3.12 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos**

No se logró detectar hidrocarburos aromáticos policíclicos en las muestras de agua tomadas durante los cuatro muestreos, utilizando la metodología planteada de extracción en fase sólida y análisis por cromatografía de gases con detector de ionización de llama. El límite de detección es de 200 µg/L.

## 8. DISCUSION DE RESULTADOS

### 8.1 Análisis Bacteriológicos

A las muestras analizadas se les efectuó un recuento total de bacterias y se seleccionó al grupo de bacterias coliformes como las indicadoras de contaminación de origen ambiental y/o humano-animal. *E. coli* fue utilizada como el indicador de contaminación de origen fecal. Los coliformes pueden ser utilizados como indicadores biológicos de descargas orgánicas por escorrentías y materiales fecales. La presencia de estos microorganismos indica entre otras cosas malas condiciones sanitarias provocadas por actividades antropogénicas e intervención animal (Rheinheimer, 1977).

Al efectuar el análisis de los resultados obtenidos (gráficas 1-6) es importante señalar que se registró en términos generales una mayor contaminación bacteriológica en Río Dulce, cuerpo de agua en el que se ubicaron la mayor cantidad de puntos de muestreo (11 puntos) seleccionados para este estudio, principalmente en los que se fijaron cerca de centros poblados, turísticos en algunos casos o en los que se realizaban actividades de pesca, tales como Bajo el Puente, Camelias, Creek Jute, Livingston, Torno de la Virgen, Río Lámpara.

Tal y como se mencionó anteriormente, el grupo de bacterias coliformes fue utilizado como indicador, siendo *E. coli* (cuadro 1) la bacteria de este grupo que se identificó, en la mayoría de puntos en los que se registró el crecimiento de estos indicadores.

Con relación a los puntos de muestreo del Lago de Izabal (gráficas 4,6), en todos se registró la presencia de bacterias coliformes, sin embargo la contaminación por *E. coli* (cuadro 1) se presentó principalmente en Río San Marcos (en los cuatro muestreos) y Mariscos (en tres muestreos). Como era de esperarse en el Centro del Lago que es el punto más alejado de las fuentes de contaminación (centros poblados, turísticos, drenajes, fincas y afluentes contaminados, entre otros) no se registró la presencia de esta bacteria indicadora de contaminación de origen fecal. Estudios anteriores han considerado que el sistema de humedales localizado en el área juega un papel muy importante para la recuperación de este cuerpo de agua de la gran carga de contaminación que recibe de diversas fuentes (Herrera K y Dix A, 1999).

En términos generales, se puede mencionar que los picos de contaminación bacteriológica más elevados en ambos cuerpos de agua se obtuvieron en época lluviosa. Cabe mencionar que este año hubo un corrimiento de la misma por diversos factores climáticos, por lo que los muestreos correspondientes a esta época se efectuaron en agosto y octubre. La lluvia lava la tierra arrastrando por escorrentías la contaminación fecal animal y humana de los alrededores. Otro factor importante que pudo influir los resultados obtenidos, es que los muestreos correspondientes a los meses de febrero, mayo y agosto se ejecutaron en fin de semana, lo que coincidió con una mayor afluencia de turistas y el registro de diversas actividades en la mayoría de los sitios de muestreo, únicamente el último muestreo se ejecutó entre semana. Se considera que este factor fue determinante para que a pesar de efectuar este muestreo con lluvias, la contaminación registrada sea menor en varios puntos al compararla con muestreos anteriores.

Los resultados del crecimiento de bacterias indicadoras de contaminación de origen fecal llaman la atención como un punto crítico a considerar en la ejecución para un plan de manejo de las cuencas estudiadas, entre los factores que influyen están: la falta de sistema de drenajes, no hay plantas de tratamiento de aguas residuales de origen agroindustrial o domiciliar, numerosos centros poblados ubicados en el área aún hoy en el siglo XXI no cuentan con los servicios básicos mínimos, hay una fuerte actividad ganadera y agrícola en los alrededores. El problema de la contaminación de origen fecal está relacionado con la conducta humana, la cual determina la transmisión de enfermedades relacionadas con excretas.

Las aguas contaminadas con heces podrían constituir un riesgo importante para la salud de los pobladores que aún no tienen acceso al agua potable y además no cuentan con sistemas apropiados para la disposición de excretas. Hay indicios de que la salud de la gente que vive cerca de campos regados con aguas residuales se afecta negativamente, sea por contacto directo con el suelo, sea por contacto indirecto con trabajadores agrícolas o personas que tiene contacto con el agua contaminada. Es evidente que el agua residual sin tratar es un riesgo para la salud por los parásitos y bacterias patógenas. Por lo que el dotar a las poblaciones de los servicios básicos para la disposición de esta agua y su tratamiento es un método eficaz para la protección de la salud pública (Duncan y Cairncross, 1990). Por lo que para que las perspectivas de desarrollo principalmente para los pobladores con más escasos recursos no sean casi nulas se hace necesario combatir este problema.

Estos y otros factores hacen necesaria y urgente la acción para el rescate de estos cuerpos de agua tanto por el sector gobierno, empresarial, organizaciones no gubernamentales ubicadas con intereses en el lugar, así como de los pobladores del área y turistas; ya que desde los estudios efectuados por Basterrechea (1992) a la fecha (2003) se ha evidenciado el deterioro cada vez más acelerado de que están siendo objeto tanto el Lago de Izabal como Río Dulce. Actuar es importante para conservar estos dos cuerpos de agua, que son de un gran valor ecológico, económico, turístico y social. Y sobre todo porque a pesar de estar ubicadas varias áreas protegidas en el lugar, todo indica que aún estos sitios están siendo objeto de perturbación.

## 8.2 Fitoplancton

La mayoría del fitoplancton identificado es característico de aguas superficiales y es cosmopolita, aunque en algunos puntos también se identificó fitoplancton característico de determinados ambientes.

En los muestreos predominaron los siguientes grupos de algas: Chlorophyta, Chrysophyta y Cyanophyta, las que se citan en orden de mayor diversidad. Tanto la presencia de diatomeas (Chrysophyta) y cianofíceas (Cyanophyta) son típicas de aguas ricas en nutrientes. A pesar de que las clorofíceas y diatomeas son las más diversas, los especímenes más abundantes (con mayor densidad) se ubican dentro del grupo de las cianofíceas (Cyanophyta, p. e. *Microcystis aeruginosa*). La mayor diversidad de fitoplancton se registró en los muestreos efectuados durante la época seca. El número de géneros y especies reportados es mayor que en estudios previos, sin embargo es conveniente aclarar que el protocolo de muestreo y análisis probablemente fue diferente.

Es pertinente indicar que no se logró la identificación hasta especie de todo el fitoplancton observado, ya que únicamente se contaba con una cámara de identificación de Sedwig-Rafter con capacidad para 1mL lo que nos permitió llegar hasta aumentos de 200X con un microscopio Nikon y una celda de Palmer que nos permitió acercarnos a 400X. Es importante mencionar que algunos organismos de fitoplancton requieren aumento de 1000X o más para su completa identificación. Es por ello que se reportan los datos estadísticos.

En los muestreos que se efectuaron a lo largo del año destaca el aumento de géneros de fitoplancton especialmente de Chlorofitas durante el segundo muestreo (mayo) correspondiente a la estación seca y la disminución gradual durante el tercer muestreo realizado en agosto y cuarto muestreo efectuado en octubre, que corresponden a la época lluviosa (cuadro 7), siendo esta en los meses de agosto y octubre. Es importante mencionar que, aunque mayo es considerado como mes de época lluviosa, en este año no llovió en el durante este mes.

También durante el primer (febrero) y segundo (mayo) muestreo, que corresponden a los meses de estación seca se observó mayor diversidad de géneros de las divisiones, mientras que durante los meses de agosto y octubre correspondientes a la época lluviosa disminuyó la diversidad de géneros en todas las divisiones, esto quizá por el aumento de la cantidad de agua que apartaron los afluentes hacia el Río Dulce y Lago de Izabal.

Con relación a la abundancia del fitoplancton se puede mencionar que los puntos con mayor cantidad de cianofitas fueron Centro del Lago de Izabal en febrero (cuadro 6), Río Chocón y Salida del Golfete en mayo (cuadro 7). En el muestreo de agosto la mayor abundancia de cianofitas fue en Torno de la Virgen, Centro del Golfete, Río Chocón y Mariscos (cuadro 8). Y en octubre los puntos fueron Torno de la Virgen y Camelias (cuadro 9), lo que nos indica que es posible que en estos puntos se esté dando el mayor aporte de nutrientes para el crecimiento de este grupo de algas planctónicas.

Entre los géneros más abundantes encontrados en cada punto de muestreo destacan *Pediastrum*, *Botryococcus*, *Anacystis*, *Anabaena*, *Microcystis aeruginosa* (Gráfica 12), esta última es especie indicadora de contaminación por contacto, llegando a ocasionar dermatitis y puede ser hepatotóxica. Se apreció un incremento gradual de las cianofitas en los muestreos, lo que indica un aumento en la contaminación del río y del lago, lo que a su vez coincide con el paso de época seca a época lluviosa.

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores las cianofitas (Cyanophyta) son más abundantes, sin embargo no las más diversas. En contraste las clorofitas (Chlorophyta) son las más diversas, sin embargo, no las más abundantes. En este sentido tanto en el Lago de Izabal como en Río Dulce las más abundantes son las cianofitas, vale hacer énfasis en algunos aspectos que sustentan los resultados obtenidos; y es que las cianofitas se desarrollan especialmente cuando las condiciones ambientales se desvían

notablemente de las habituales. Así todo cambio en la relación de la concentración del nitrógeno y el fósforo acaba manifestándose en un avance o retroceso en el desarrollo de las mismas. Estas algas se desarrollan en situaciones marginales o cambiantes, pero cuando las condiciones se hacen normales quedan fácilmente eliminadas por la competencia con otros organismos. Es por ello, el concepto de que los florecimientos de cianofitas en cuerpos de agua dulce se asocian con una eutroficación avanzada del cuerpo de agua, es por esto que estas algas se usan como indicadores de este estado.

Con relación a las clorofitas (Chlorophyta) se ha indicado que son el grupo más diverso registrado en este estudio y a nivel mundial se les reporta como las algas fitoplanctónicas más diversas y presentes en lagos tropicales de salinidad moderada a baja.

A continuación se detallan algunas características del fitoplancton que se identificó en este estudio. La presencia de determinados géneros y/o especies sirvió para indicar determinadas condiciones ambientales en algunos puntos de muestreo. Se pueden mencionar los siguientes:

- a) *Microcystis aeruginosa* (Kützing 1833) 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* (Meyen 1829) 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.
- c) *Pediastrum* (Meyen, 1829) Son algas de superficie. La especie *P. simplex* indica la presencia de desechos ricos en sales, especialmente sulfatos y cloruro de sodio. Se encuentran tanto en aguas duras como blandas.
- d) *Botryococcus* (Kützing, 1849) Son algas planctónicas de superficie. Comunes y a menudo abundantes en aguas semiduras, donde con frecuencia son el componente dominante de las asociaciones de florecimientos de agua.
- e) *Merismopedia* (Meyen, 1839) Especies de este género son frecuentes en aguas contaminadas y prefieren la época lluviosa.



- f) *Anabaena* (Bory de Saint Vincent 1822) y *Euglena* (Ehrenberg 1838) Son abundantes en aguas ricas en desechos orgánicos (Ramírez, J. 2000).

Debe destacarse que los géneros de fitoplancton identificados y que son indicadores de un proceso de eutroficación del Lago de Izabal son *Synedra*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Fragilaria*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria* y *Lyngbya*. De los géneros anteriores *Microcystis* y *Anabaena* pueden ser utilizados como indicadores de eutroficación en regiones templadas durante los meses cálidos (Hutchinson, 1967).

Para continuar con los factores que pudieron influir en los resultados obtenidos se debe señalar que en los meses de agosto y octubre, (época lluviosa) la turbidez del agua en el Lago de Izabal y Río Dulce así como el clima parcialmente nublado o completamente nublado, es posible que influyera en la disminución de la cantidad de géneros encontrados en todos los puntos de muestreo, ya que disminuyó la penetración de la luz, que son factores que estimulan el crecimiento y desarrollo del fitoplancton.

Además el nutriente limitante en la mayor parte de puntos de muestreo durante los cuatro muestreos es el nitrógeno, lo que influyó para que los géneros de la división Cyanophyta fueran los más abundantes porque estos organismos utilizan el nitrógeno para el proceso de fotosíntesis, (cuadros 6-9).

Y por último se considera que la hora de toma de muestra también influyó en la diversidad de fitoplancton, porque se encontró mayor diversidad de géneros de Chlorophytas que se les clasifica como plancton superficial. Esto quizá se debe a que en las primeras horas del día la corriente del agua es suave o moderada, dirigiéndose desde el Río Polochic, pasando por el Lago de Izabal, hacia el Río Dulce para llegar a Livingston permitiendo que no se remueva el sustrato, logrando que no haya cambios en la superficie del río y del lago.

### **8.3 Análisis fisicoquímicos**

El pH alcalino observado en casi la totalidad de los sitios de muestreo, tanto en el lago de Izabal como en el Río Dulce, es reflejo de la geología de la cuenca, en la cual predomina el karst. El mayor pH en la mayoría de los sitios observado en febrero (ver cuadro 12), es

producto de la concentración de sales debido a la ausencia de lluvias de la época seca. En general los menores valores de pH en agosto y octubre, además de la dilución se deben al arrastre de materia orgánica por la escorrentía característica de la época lluviosa, la cual al descomponerse genera ácidos húmicos que disminuyen el pH, lo cual se corrobora al observarse un valor promedio de 7.82 en octubre. Como producto de la concentración de sales en la época seca, se observa un pico en la conductividad de la mayoría de los sitios de muestreo en febrero, en la cual la conductividad alcanza el máximo, superando los 1000 uS/cm (ver cuadro 13). Esta conductividad se ve reducida en agosto como producto de la dilución por las lluvias, lo cual se relaciona con la disminución en la concentración de los sólidos, los cuales a partir de un máximo en mayo (ver cuadros 15, 16 y 17), en el cual sufren un incremento debido a lavado de suelos por el agua de lluvia, decaen en agosto como producto de la dilución por la continuidad de las lluvias.

La elevada concentración de sólidos observada en la mayor parte de los sitios, es debida a la deforestación acelerada que puede observarse en la cuenca, lo cual constituye una amenaza para la integridad del lago de Izabal y Río Dulce, ya que los sólidos reducen la penetración de la luz solar y por otra parte incrementan la carga de nutrientes, lo cual provoca la aceleración del proceso de eutrofización y facilita la reproducción de plantas exóticas con mayor capacidad para competir por los nutrientes, en comparación con las plantas nativas. Estimaciones efectuadas en estudios recientes indican que en la cuenca del río Polochic, se observa pérdidas anuales de suelo de hasta 933 TM/km<sup>2</sup> (Pérez, 2003) lo cual provoca la descarga de elevados niveles de sólidos sedimentables al lago de Izabal. Esto ha sido una de las causas de la aparición y rápida propagación de la planta *Hydrilla verticillata*, la cual ha expandido su área en el lago de Izabal, durante el período de estudio del proyecto, observándose un incremento notable en el área de Mariscos y del Castillo de San Felipe, los cuales fueron sitios de muestreo del proyecto. Los sitios de muestreo que presentaron las mayores concentraciones de sólidos totales, fueron Río Chocón, centro del golfete, Livingston y Torno de la Virgen, sin embargo, debido a la mayor profundidad de estos sitios, no presentan amenazas por parte de la planta *Hydrilla verticillata*.

La poca transparencia que presentan tanto el Río Dulce como el Lago de Izabal, que en ningún caso supera los 3 metros, es debida en parte a la elevada concentración de sólidos observada en la mayoría de los sitios.

En cuanto los nutrientes, a nivel general se observó una menor concentración promedio de nitrógeno total en febrero, posteriormente un incremento en mayo, producido por el inicio de las lluvias y un máximo en octubre.

Los sitios que presentaron las mayores concentraciones de nitrógeno total fueron los afluentes del Río Dulce, Lámpara, Chocón y Creek Jute, lo cual indica que existe una mayor carga de nutrientes en dichos ríos, debido a la deforestación y a posibles malas prácticas agrícolas, como el uso excesivo de fertilizantes. Los niveles de nitrógeno total observados en el centro del lago de Izabal, con un promedio de 4.10 mg/L, indican que el lago presenta concentraciones de nitrógeno correspondientes a un lago en estado eutrófico, ya que por ejemplo Machorro (1996) cita niveles entre 0.350 a 0.660 mg/L para nitrógeno total en lagos eutróficos, lo cual se superó ampliamente en el presente estudio. La concentración promedio en el castillo de San Felipe, de 8 mg/L confirma el estado eutrófico del lago, así como la concentración observada en el castillo de San Felipe, también de 4 mg/L.

Las concentraciones de nitrógeno de nitratos en la mayoría de los sitios de muestreo son inferiores a 0.5 mg/L, lo cual indica que la mayor parte del nitrógeno total corresponde a nitrógeno orgánico, contenido en los sólidos disueltos y suspendidos. En relación a los nitratos, se observa un pico en mayo, cuando se inician las lluvias y luego una disminución en agosto y octubre, debido a la dilución de las lluvias. Los niveles de nitratos no varían notablemente entre los sitios de muestreo de Río Dulce y el lago de Izabal.

El comportamiento del nitrógeno de nitritos es similar a los nitratos, al observarse un pico en mayo, sin embargo el mínimo se observa en octubre. Los niveles de nitritos son normales para un lago, ya que no superan el valor de 0.01 mg/L, lo cual indicaría una contaminación severa reciente por aguas residuales. Los niveles de amonio observados fueron bajos, al no alcanzarse el valor de 0.1 mg/L, nivel que podría ser perjudicial para los peces al combinarse con el pH básico del ecosistema.

Lo anterior indica que la mayor proporción del nitrógeno total corresponde a nitrógeno orgánico, lo cual es indicio de que existe una erosión elevada en la cuenca, en la cual se arrastra suelo con gran contenido de materia orgánica, y también la presencia de aguas residuales.

En cuanto al fósforo total, los niveles son muy elevados y confirman el estado eutrófico del lago. Normalmente el fósforo es el nutriente limitante, pero debido a las concentraciones demasiado elevadas, en algunos casos el nitrógeno pasó a ser el nutriente limitante como se discutió en la parte correspondiente a fitoplancton. Entre el primer muestreo efectuado en febrero y el último efectuado en octubre, se observó un incremento gradual en la concentración de este nutriente, pasando de 0.8423 a 7.0080 mg/L. De acuerdo con Machorro, los niveles de 0.020 a 0.100 mg/l de fósforo total son indicativos de un estado eutrófico, habiéndose superado estas concentraciones ampliamente en el presente estudio. Estos altos niveles de nutrientes contribuyen también a la rápida propagación de la planta acuática *Hydrilla verticillata*. La alta concentración de fósforo indica que este parámetro es el que representa la mayor contaminación del lago de Izabal y Río Dulce, presentando niveles elevados en la totalidad de los puntos de muestreo. Estas altas concentraciones pueden deberse al uso incorrecto de fertilizantes y a la descarga de aguas residuales al lago de Izabal y Río Dulce.

En cuanto al fósforo de ortofosfatos, se observó un comportamiento similar al fósforo total, incrementándose la concentración gradualmente entre febrero y octubre, alcanzándose una concentración de 0.129 mg/l en octubre. Es destacable la mayor concentración promedio que presenta el río Bonito, lo cual tendría un impacto importante en el río Dulce. Este río recorre un área en la cual se practica la ganadería y agricultura, por lo que la carga de nutrientes se incrementa. El río Creek Jute presentó una concentración muy elevada en octubre, con 0.520 mg/l, lo cual podría indicar la aplicación reciente de cantidades importantes de fertilizantes en el área. La distribución de la contaminación en cuanto al fósforo no tiene una tendencia plenamente definida, ya que tanto en el lago de Izabal como en el Río Dulce se observan fluctuaciones en las concentraciones de fósforo total y de fosfatos, observándose concentraciones elevadas en todos los casos. Se determinó que los afluentes aportan cantidades importantes de fósforo al Río Dulce.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total se utilizaron para la comparación entre los grupos de sitios de muestreo, del lago de Izabal, Río Dulce y afluentes del Río Dulce, debido a los niveles elevados que se observaron, que representan una amenaza para la aceleración del proceso de eutrofización del lago de Izabal y la calidad del agua del Río Dulce. En el cuadro 24 y figuras 13 a 20 en Resultados, se sintetizan los resultados del análisis, el cual se presenta en los anexos. Se determinó que tanto para nitrógeno total como para fósforo total no hubo diferencia significativa en ninguno de los cuatro muestreos entre el lago de Izabal y el Río Dulce, lo cual confirma la hipótesis en cuanto a que la calidad del agua del lago de Izabal presenta un impacto negativo sobre la calidad del agua del Río Dulce. Esto se traduce en que no existe una depuración importante de la contaminación en el recorrido del agua entre el lago de Izabal y el Río Dulce, por lo que los procesos que afecten a la calidad del agua del lago afectarán igualmente al Río Dulce. Si se observó diferencia significativa entre los niveles de nitrógeno total de los afluentes del Río Dulce y este río, en los meses de febrero, agosto y octubre, lo cual indica que las mayores concentraciones de nitrógeno total observadas en los afluentes representan una amenaza importante para la calidad del agua del Río Dulce. En cuanto al fósforo total, se observó diferencia significativa entre el Río Dulce y sus afluentes en agosto.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se observaron valores importantes solamente en febrero, en Camelias, Oleoducto y Río Dulce, y en octubre, en Puntarenas, la salida del golfete y Livingston (ver cuadro 24). Sobre la Demanda Química de Oxígeno, puede observarse en el cuadro 25 que son Livingston, torno de la virgen, río Lámpara, río Chocón, Puntarenas, Mariscos y Río Dulce, los sitios que en uno o más muestreos presentaron niveles mayores.

Tomando en cuenta las concentraciones de nutrientes observadas, pueden considerarse como las principales fuentes de contaminación, el río Polochic, Fronteras, los afluentes río Bonito, río Lámpara, río Creek Jute, río San Marcos, Puntarenas y Livingston, los cuales presentan actividades domésticas y/o agropecuarias que generan contaminación.

En cuanto a las concentraciones de metales, es de destacar las concentraciones de zinc, las cuales son relativamente elevadas para un cuerpo de agua. Este elemento puede presentar toxicidad a niveles mayores, por lo que es recomendable la observación de las tendencias de este elemento. La presencia de hierro en concentraciones superiores a 1

mg/L puede considerarse normal en vista el arrastre de suelo por la escorrentía. La presencia de concentraciones bajas de manganeso también es normal. El cobre no presentó niveles que representen una amenaza y la frecuencia en que se encontró es muy baja.

El plomo no pudo determinarse en ninguna muestra, en vista de que el límite de detección no resultó suficiente para su determinación a niveles de traza, sin embargo, se estableció que no existe una contaminación elevada por parte de este metal.

En cuanto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, no se detectaron, siendo importante el mejoramiento de la metodología para alcanzar un mejor límite de detección.

## 9. CONCLUSIONES

En general, se considera necesario integrar a las autoridades municipales, de manejo de la cuenca del Río Dulce y Lago de Izabal, así como a los grupos de investigación que trabajan en la cuenca, con el fin de realizar una planificación integral de la cuenca que incluya como puntos prioritarios para la conservación y mejoramiento de la calidad del agua de dichos cuerpos, el tratamiento de aguas residuales, de programas de capacitación para agricultores y de educación ambiental para las comunidades asentadas en la cuenca.

### Análisis bacteriológico

1. Se identificó que la mayor contaminación bacteriológica se obtuvo en los puntos de muestreo ubicados en el Río Dulce.
2. Río Dulce registró la mayor contaminación bacteriológica, en época lluviosa.
3. La presencia de indicadores de contaminación fecal como la *E. coli* demuestra la mala disposición de aguas residuales y desechos en el área de estudio.
4. De los puntos de muestreo ubicados en el Lago de Izabal, únicamente en el Centro del Lago no se registró *E. coli* como indicador de contaminación fecal, esto debido a que es el punto más alejado de las fuentes de contaminación.
5. Los sitios de Río Dulce que registraron mayor contaminación por bacterias coliformes son Camelias, Entrada de Golfete, Centro del Golfete, Creek Jute, Río Lámpara y Livingston.
6. Los puntos de muestreo más cercanos a centros poblados se vieron marcadamente afectados por la contaminación fecal, indicada por la presencia de *E. coli*.
7. El sitio de muestreo que en el Lago de Izabal registró la mayor contaminación por coliformes fecales es el identificado como Río San Marcos.
8. La presencia de *E. coli* en la mayoría de los sitios muestreados tanto en el Lago de Izabal como en río Dulce, indica la necesidad de implementar programas de saneamiento ambiental para la disposición adecuada para los desechos así como plantas de tratamiento de aguas de origen agroindustrial y domiciliar, esto a la vez unido debería integrarse a la dotación de los centro poblados indicados en el área con los servicios básicos mínimos. En este sentido la educación ambiental juega

un papel importante como una herramienta a hacer utilizada para ayudar a combatir el deterioro acelerado de que están siendo objeto los cuerpos de agua considerados en este estudio.

## Fitoplancton

1. Las clorofíceas, diatomeas y cianofíceas en su orden fueron las algas más diversas.
2. La mayor diversidad de Fitoplancton se registró durante la época seca.
3. Las cianofíceas aunque menos diversas fueron las que en algunos casos presentaron mayores densidades (organismos/litro).
4. *Mycrocystis aeruginosa* fue una de las especies que presentó las mayores densidades en la mayoría de puntos de muestreo.
5. En época seca la mayor diversidad de especies se registró en los puntos identificados como Castillo de San Felipe (41 géneros), Río Chocón (31 géneros) en el primer muestreo correspondiente a febrero y en Camelias (34 géneros), Río Chocón (34 géneros) y Centro de Lago de Izabal (33 géneros) en el segundo muestreo correspondiente a mayo.
6. En época lluviosa la mayor diversidad de especies se registró en los puntos identificados como Mariscos (31 géneros) y Centro del Golfete (30 géneros) en el tercer muestreo correspondiente a agosto y en la Entrada al Golfete (25 géneros) y Torno de la Virgen (24 géneros) en el cuarto muestreo correspondiente a octubre.
7. El Lago de Izabal se encuentra en un proceso de eutroficación, esto evidenciado por los resultados obtenidos del análisis de fitoplancton en los que se detectó una mayor abundancia de Cyanophytas.
8. Los géneros de fitoplancton indicadores de un proceso de eutroficación del Lago de Izabal son *Synedra*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Fragilaria*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Oscillatoria* y *Lyngbya*. De los géneros anteriores *Mycrocystis* y *Anabaena* pueden ser utilizados como indicadores de eutroficación en regiones templadas durante los meses cálidos.



### **Análisis fisicoquímicos**

1. No existe diferencia significativa entre los niveles de nitrógeno total y fósforo total entre el lago de Izabal y Río Dulce, lo que indica que no existe una depuración significativa en el recorrido del agua del lago al río y que los procesos de contaminación que afectan al lago afectarán también al Río Dulce.
2. Existe diferencia significativa entre los niveles de nitrógeno del Río Dulce y sus afluentes, representando la mayor concentración de estos una amenaza para la calidad del agua del Río Dulce y para la propagación de la planta acuática *Hydrilla verticillata*.
3. Los niveles de nutrientes del lago de Izabal indican que el mismo se encuentra en un estado eutrófico.
4. La carga de sólidos totales y en suspensión representa una amenaza para la aceleración del proceso de eutrofización del lago de Izabal y para la propagación de la planta acuática *Hydrilla verticillata*.
5. Los niveles de zinc encontrados en el lago de Izabal y Río Dulce son anormales y corresponden a una contaminación continua.
6. Los sitios que corresponden a las principales fuentes de contaminación del lago de Izabal y Río Dulce son el río Polochic, Fronteras, río San Marcos, Camelias, río Bonito, Puntarenas, río Creek Jute, río Lámpara y Livingston.
7. Los niveles de alcalinidad del lago de Izabal y Río Dulce corresponden a la predominancia del karst en la geología de la cuenca.
8. La mayor proporción de nitrógeno orgánico correspondiente al nitrógeno total, en comparación con el nitrógeno inorgánico, indican contaminación por escorrentía y lavado de suelos, así como por aguas residuales.
9. Las elevadas concentraciones de fósforo representan la principal amenaza para la aceleración del proceso de eutrofización del lago de Izabal y para la propagación de la planta acuática *Hydrilla verticillata*.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Realizar talleres de discusión integrados por las autoridades municipales, de manejo de la cuenca del Río Dulce y Lago de Izabal, así como a los grupos de investigación que trabajan en la cuenca, para realizar planificación integral de la cuenca en el largo plazo, incluyendo como puntos prioritarios para la conservación y mejoramiento de la calidad del agua de dichos cuerpos, el planteamiento de proyectos de inversión para el tratamiento de aguas residuales, de programas de capacitación para agricultores y de educación ambiental para las comunidades asentadas en la cuenca.
2. Incluir en la investigación y en los programas de educación ambiental, las subcuencas de los afluentes del Río Dulce y Lago de Izabal, con el fin de disminuir la descarga de contaminantes.
3. Realizar una investigación más profunda de las fuentes de contaminación por zinc, en vista de que este metal fue el que presentó las mayores concentraciones y el incremento de estas podría representar un riesgo para la vida acuática y la salud de los pobladores de la cuenca.
4. Se recomienda el mejoramiento de la metodología analítica para la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos, en lo que puede incluirse la utilización de un cromatógrafo acoplado con espectrometría de masas para mejorar el límite de detección, ya que el cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama no permitió la detección de dichos compuestos a nivel de trazas. Estos compuestos son de importancia para determinar el impacto de las actividades de transportación de hidrocarburos y presentan altos niveles de toxicidad para la vida acuática.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWAA, WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Health Association, Washington.
- ASINDEGUA, 1997. Informe Preliminar: CALIDAD DEL AGUA EN RIO DULCE. Guatemala.
- Barrios, R., et. al. 1995. 50 Areas de Interés Especial para la Conservación en Guatemala. Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas, con la colaboración de The Nature Conservancy. Guatemala. 171pp.
- Basterrechea, M. 1991. Evaluación del Impacto Ambiental de la Exploración Sísmica en la Cuenca del Lago de Izabal. Guatemala. 88 pp.
- Basterrechea, M. et.al. 1993. Calidad del Agua del Lago de Izabal y Principales Tributarios, Informe Técnico. Convenio DGEN-SEBV, Guatemala. 60pp.
- Bestelmeyer, BT. Y L. E. Alonso. 2000. Evaluación Biológica de los Sistemas Acuáticos del Parque Nacional Laguna del Tigre, Petén, Guatemala.
- Cairns, J. et. al. 1977. Biological Monitoring of Water and Effluent Quality. American Society for Testing and Materials, Baltimore, USA. 246pp.
- Colegio de Ingenieros de Guatemala. 1995. Curso de Especialización Estudios de Impacto Ambiental Modulo I Guatemala. Mayo de 1995.
- Duncan M. y S. Cairncross. 1990. Directrices para el Uso sin Riesgos de Aguas Residuales y Excretas en Agricultura y Acuicultura. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 212 pp.
- EPA. 1986. Quality Criteria for Water. EPA, USA. 444pp. APHA, AWWAA, WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.
- González, A. 1988. Plancton de las Aguas Continentales. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C. 130pp.
- Herrera K y A. Dix. 1999. Indicadores Biológicos de la Calidad del Agua del Río Polochic y de la Integridad Biológica del Lago de Izabal. (Tesis de Maestría). Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, 99pp.
- Hurst, C., G.E. Knudsen, M.J. Mc Inerney, L. D. Stetzenbach y M.V. Walter. 1997. Manual of Environmental Microbiology. American Society for Microbiology, Washington D.C. 894pp.

- Hutchinson, G.E. A Treatise on Limnology. Vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. 1967. John Wiley & Sons, New York.
- Machorro, R. 1996. Water Quality at Lago de Izabal, Guatemala: Geochemical Characterization and Assessment of Trophic Status. Tesis Doctoral, Universidad de Texas. 240 pp.
- Manahan, S. Environmental Chemistry. 6 Ed. Lewis Publishers, Florida, 1994. 811 pp.
- Mejía, M.V. MEMORIAL DEL GOLFO DULCE. 1997. Editorial de La rial academia, Guatemala. 191pp.
- OMS. 1988. Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Washington. 132pp.
- OMS. 1995. Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 195pp.
- Payne, A.I. 1986. The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley & Sons (editor) Great Britain. pp.260
- Pérez, J.F. 2003. Carga de Nutrientes y sedimentos del río Polochic y su impacto sobre la integridad ecológica del lago de Izabal. Tesis de Maestría en Estudios Ambientales, Universidad del Valle de Guatemala.
- Plafkin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Porter, S.K. Gross, and R.M. Hughes. 1989. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers, USEPA, Office of Water Regulations and Standards. EPA/444/4-89/001.
- Prescott. G.W. 1968. The Algae: A Review. Houghton Mifflin Company Boston. 436pp.
- Ramírez, JH. 2000. Fitoplancton: Agua Dulce, Universidad de Antioquia, Medellín. 207 pp.
- Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas. Acuerdo Gubernativo No. 60-89. Guatemala, 7 de Febrero de 1989
- Rheinheimer, G. Microbial Ecology of Brackish Water Environment. 1977, Springer-Verlag. New York. 291pp.
- Roldan, G. Manual de Limnología. 1989, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Ediciones Previas, Universidad de Antioquia. 239pp.
- Shirai M., Y Takamura, H. Saduma, M. Kojima y M. Nakano. 1986. Toxicity and Delayed Type Hypersensitivity caused by *Microcystis* Blomms from Lake Kasumigaura. Microbiol. Inmmunol. 30(7), 731-735.

Willard, H. et al. Métodos Instrumentales de Análisis. Editorial Iberoamericana, México, 1988. 879 pp.

Zakrzewski, S. Principles of Environmental Toxicology. ACS, Washington, 1991. 270 pp.

## **12. ANEXOS**

**12.1 Ubicación de los sitios de muestreo en el Río Dulce y Lago de Izabal correspondientes al proyecto.**

**Cuadro 30. Coordenadas geográficas de los sitios de muestreo en Río Dulce y Lago de Izabal.**

<b>Sitio</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>Río Bonito</b>	<b>N 15°42.323</b>	<b>W 88°52.986</b>
<b>Centro Golfete</b>	<b>N 15°43.311</b>	<b>W 88°53.647</b>
<b>Centro Lago Izabal</b>	<b>N 15°30.148</b>	<b>W 89°12.069</b>
<b>Camelias</b>	<b>N 15°40.750</b>	<b>W 88°57.490</b>
<b>Río Chocón</b>	<b>N 15°44.925</b>	<b>W 88°52.511</b>
<b>Río Creek Jute</b>	<b>N 15°47.293</b>	<b>W 88°50.420</b>
<b>Entrada Golfete</b>	<b>N 15°42.135</b>	<b>W 88°55.465</b>
<b>Castillo San Felipe</b>	<b>N 15°38.133</b>	<b>W 88°59.512</b>
<b>Río Lámpara</b>	<b>N 15°46.259</b>	<b>W 88°48.146</b>
<b>Livingston</b>	<b>N 15°49.309</b>	<b>W 88°44.881</b>
<b>Río San Marcos</b>	<b>N 15°36.604</b>	<b>W 89°00.067</b>
<b>Mariscos</b>	<b>N 15°25.740</b>	<b>W 89°04.748</b>
<b>Oleoducto</b>	<b>N 15°40.323</b>	<b>W 88°58.859</b>
<b>Puntarenas</b>	<b>N 15°44.154</b>	<b>W 88°55.559</b>
<b>Río Dulce</b>	<b>N 15°39.145</b>	<b>W 88°59.929</b>
<b>Salida del golfete</b>	<b>N 15°46.655</b>	<b>W 88°49.332</b>
<b>Torno de la virgen</b>	<b>N 15°47.450</b>	<b>W 88°46.300</b>

## 12.2 ANALISIS ESTADISTICO

1) Análisis de diferencias de nitrógeno total entre grupos durante febrero de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

```
. oneway    nfeb grupo, scheffe
```

Analysis of Variance					
Source	SS	df	MS	F	Prob > F
Between groups	2938.6875	2	1469.34375	9.06	0.0005
Within groups	7780.3125	48	162.089844		
Total	10719.00	50	214.38		

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 12.2424$  Prob> $\chi^2 = 0.002$

### Comparison of Rank of nfeb by grupo (Scheffe)

Row Mean-		
Col Mean	1	2
2	10.7083	
	0.063	
3	22.125	11.4167
	0.000	0.044

.2) Análisis de diferencias de fósforo total entre grupos durante febrero de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

```
. oneway    rpfeb grupo, scheffe
```

Analysis of Variance					
Source	SS	df	MS	F	Prob > F
Between groups	1080.75	2	540.375	2.62	0.0835
Within groups	9916.25	48	206.588542		
Total	10997.00	50	219.94		

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 6.2491$  Prob> $\chi^2 = 0.044$

### Comparison of Rank of pfeb by grupo (Scheffe)

Row Mean-		
Col Mean	1	2



```

-----|-----
2 | 8.83333
  | 0.219
  |
3 | -.75 -9.58333
  | 0.992 0.169

```

3) Análisis de diferencias de nitrógeno total entre grupos durante mayo de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

```
oneway nmay grupo, scheffe
```

Analysis of Variance					
Source	SS	df	MS	F	Prob > F
Between groups	131.770833	2	65.8854167	0.30	0.7455
Within groups	10703.2292	48	222.983941		
Total	10835.00	50	216.70		

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 4.9805$  Prob> $\chi^2 = 0.083$

Comparison of Rank of nmay by grupo  
(Scheffe)

```

Row Mean-|
Col Mean |      1      2
-----|-----
2 | -3.88889
  | 0.756
  |
3 | -1.875 2.01389
  | 0.954 0.927

```

4) Análisis de diferencias de fósforo total entre grupos durante mayo de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

```
. oneway rpmaygrupo, scheffe
rpmaygru not found
r(111);
```

```
. oneway rpmay grupo, scheffe
```

Analysis of Variance					
Source	SS	df	MS	F	Prob > F

Between groups	71.0208333	2	35.5104167	0.16	0.8562
Within groups	10944.9792	48	228.020399		
Total	11016.00	50	220.32		

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 2.6600$  Prob> $\chi^2 = 0.264$

Comparison of Rank of pmay by grupo  
(Scheffe)

Row Mean-	Col Mean	
	1	2
2	-2.73611	
	0.873	
3	-2.875	-.138889
	0.897	1.000

5) Análisis de diferencias de nitrógeno total entre grupos durante agosto de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

. oneway mago grupo, scheffe

Analysis of Variance					
Source	SS	df	MS	F	Prob > F
Between groups	1456.70773	2	728.353864	4.76	0.0136
Within groups	6578.79227	43	152.995169		
Total	8035.50	45	178.566667		

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 3.4262$  Prob> $\chi^2 = 0.180$

Comparison of Rank of nago by grupo  
(Scheffe)

Row Mean-	Col Mean	
	1	2
2	2.12545	
	0.894	
3	-12.0045	-14.13
	0.097	0.015

6) Análisis de diferencias de fósforo total entre grupos durante agosto de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

oneway rpago grupo, scheffe

Analysis of Variance						
Source	SS	df	MS	F	Prob > F	
Between groups	1769.25818	2	884.629091	5.66	0.0065	
Within groups	6874.74182	44	156.244132			
Total	8644.00	46	187.913043			

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 1.2210$  Prob> $\chi^2 = 0.543$

Comparison of Rank of pago by grupo  
(Scheffe)

Row Mean-	Col Mean	
	1	2
2	2.03273	
	0.904	
3	15.7727	13.74
	0.018	0.015

7) Análisis de diferencias de nitrógeno total entre grupos durante octubre de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

oneway moct grupo, scheffe

Analysis of Variance						
Source	SS	df	MS	F	Prob > F	
Between groups	2668.61538	2	1334.30769	8.20	0.0009	
Within groups	7649.88462	47	162.763502			
Total	10318.50	49	210.581633			

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 7.4915$  Prob> $\chi^2 = 0.024$

Comparison of Rank of noct by grupo  
(Scheffe)

Row Mean-		
Col Mean	1	2
----- -----		
2	-1.153846	
	0.999	
3	17	17.1538
	0.008	0.002

8) Análisis de diferencias de fósforo total entre grupos durante octubre de 2003: 1) Lago de Izabal; 2) Río Dulce; 3) Afluentes Río Dulce.

. oneway rpcot grupo, scheffe

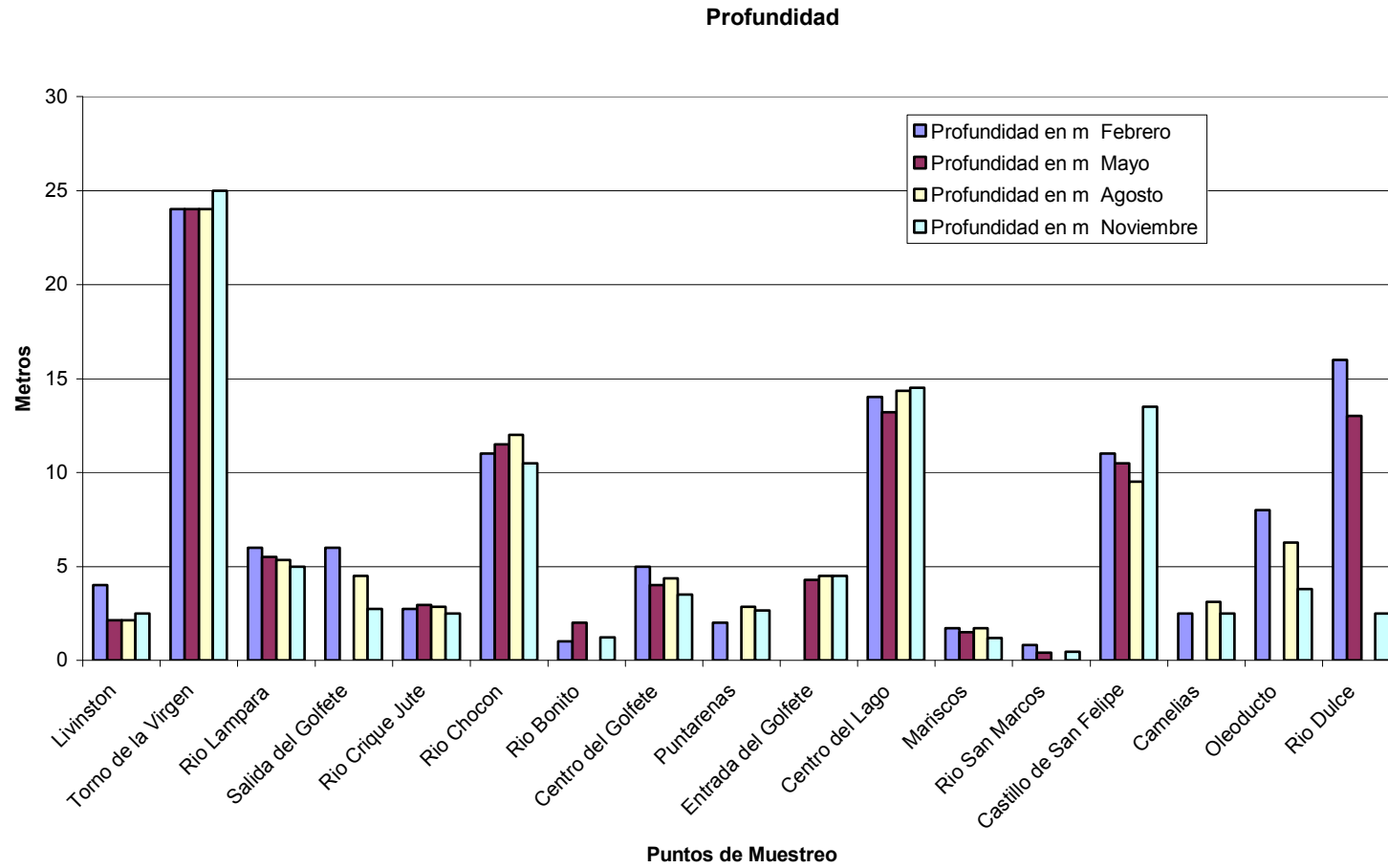
Analysis of Variance						
Source	SS	df	MS	F	Prob > F	
----- -----						
Between groups	368.6875	2	184.34375	0.83	0.4414	
Within groups	10636.8125	48	221.60026			
----- -----						
Total	11005.50	50	220.11			

Bartlett's test for equal variances:  $\chi^2(2) = 0.0659$  Prob> $\chi^2 = 0.968$

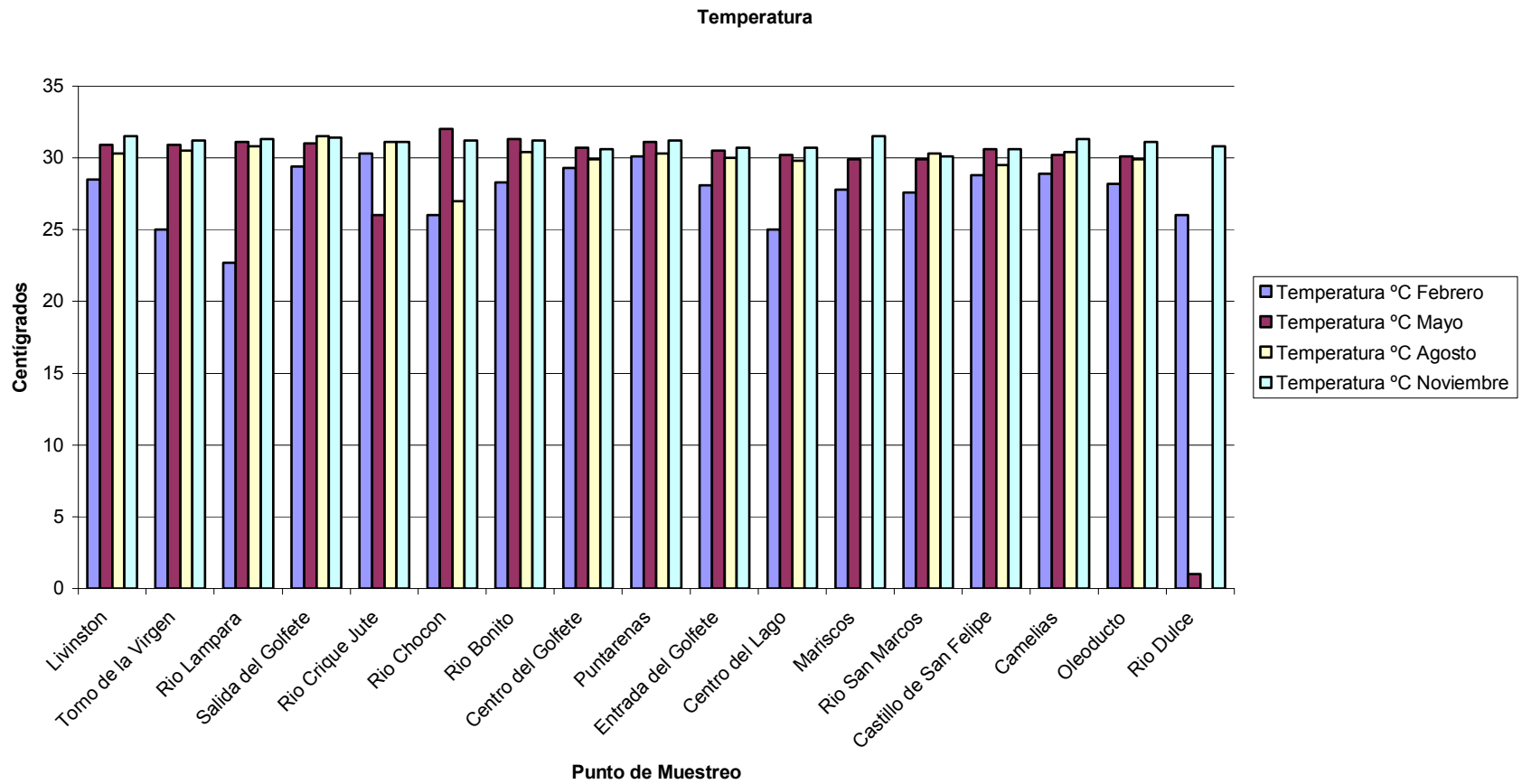
#### Comparison of Rank of poct by grupo (Scheffe)

Row Mean-		
Col Mean	1	2
----- -----		
2	-3.30556	
	0.816	
3	-7.79167	-4.48611
	0.446	0.688

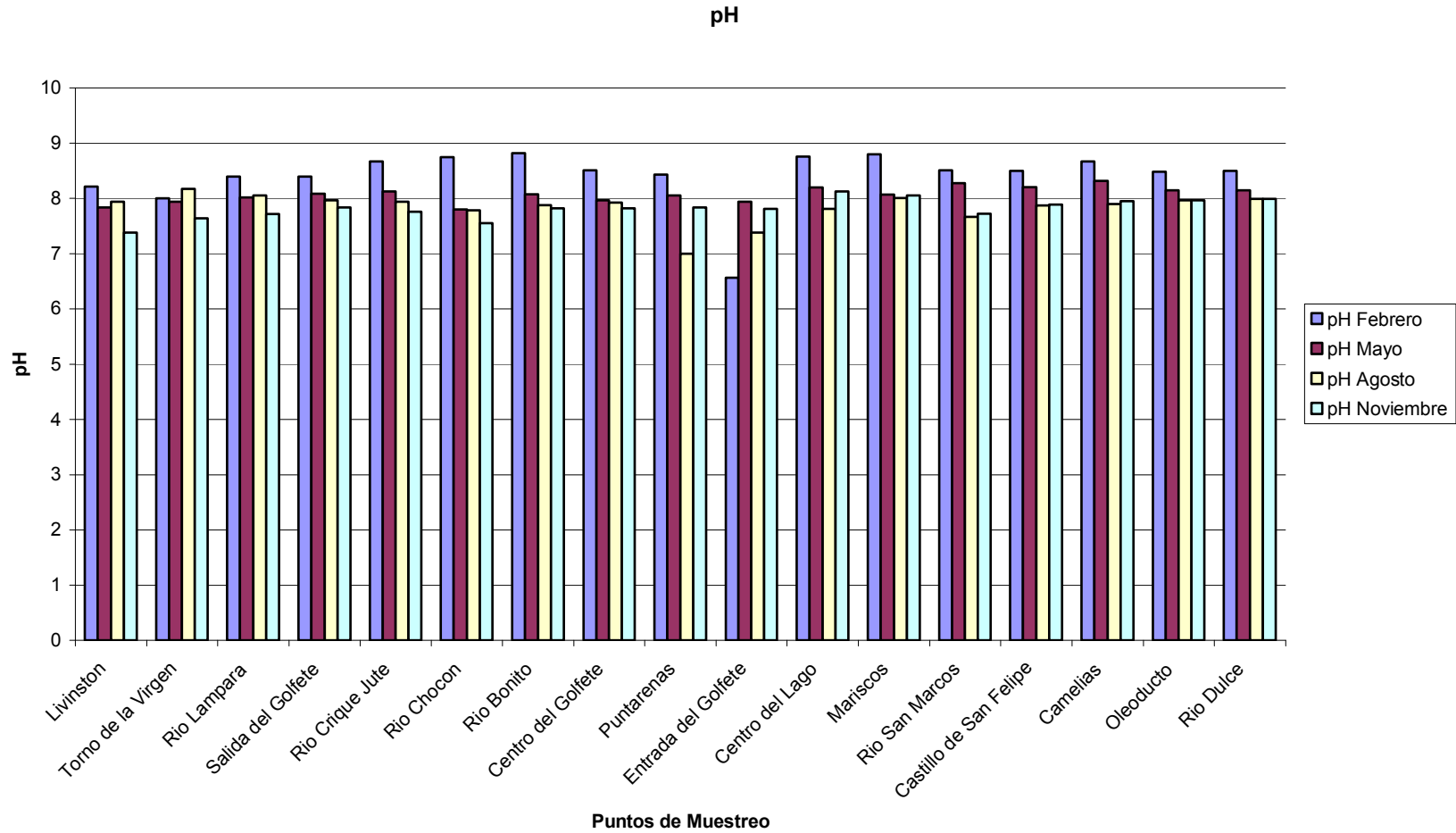
### **12.3 GRAFICAS**



Gráfica 21. Profundidad en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio en 2003.

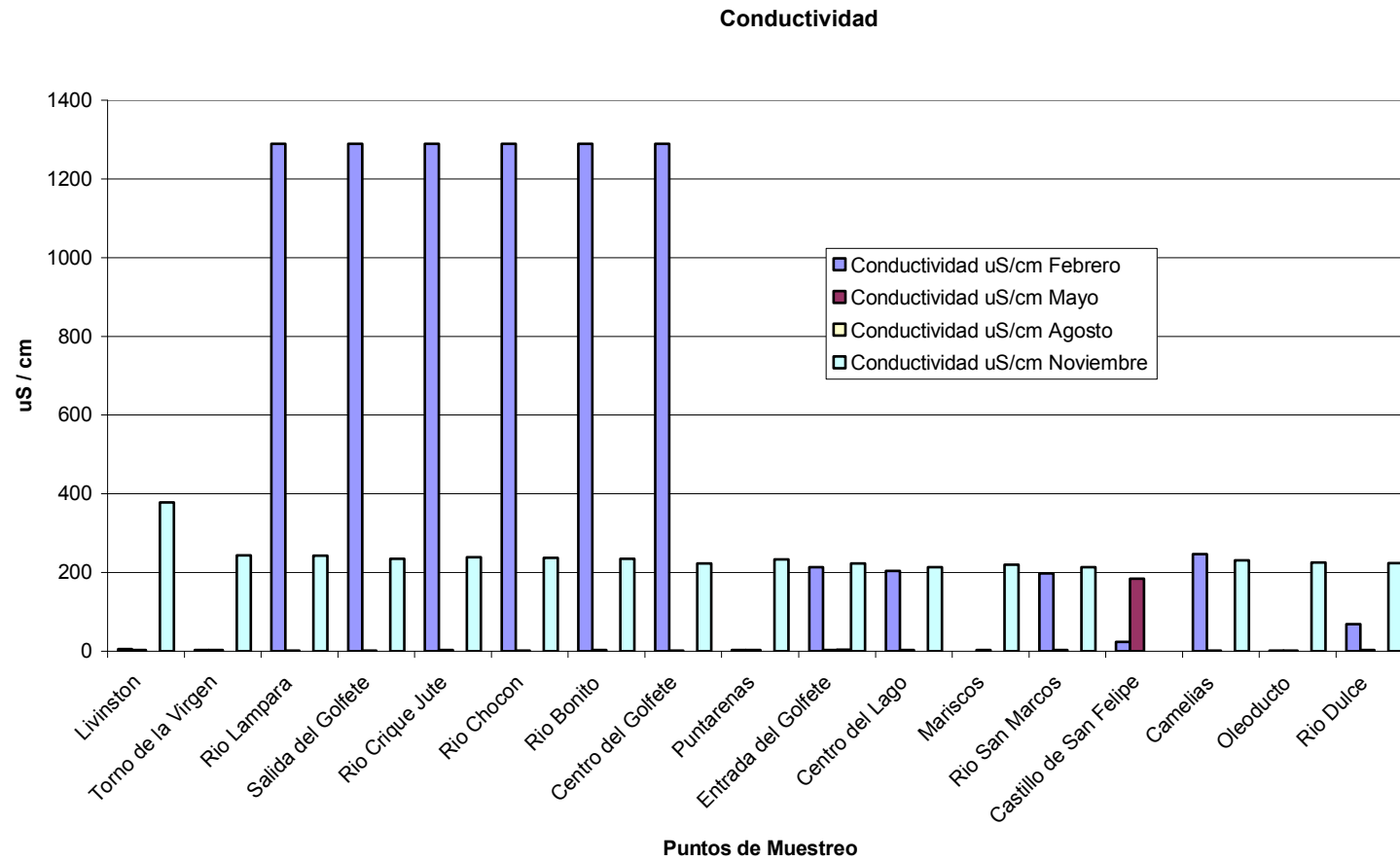


Gráfica 22. Temperatura en los sitios de muestreo en el Lago de Izabal y Río Dulce, durante los cuatro meses de estudio en 2003.

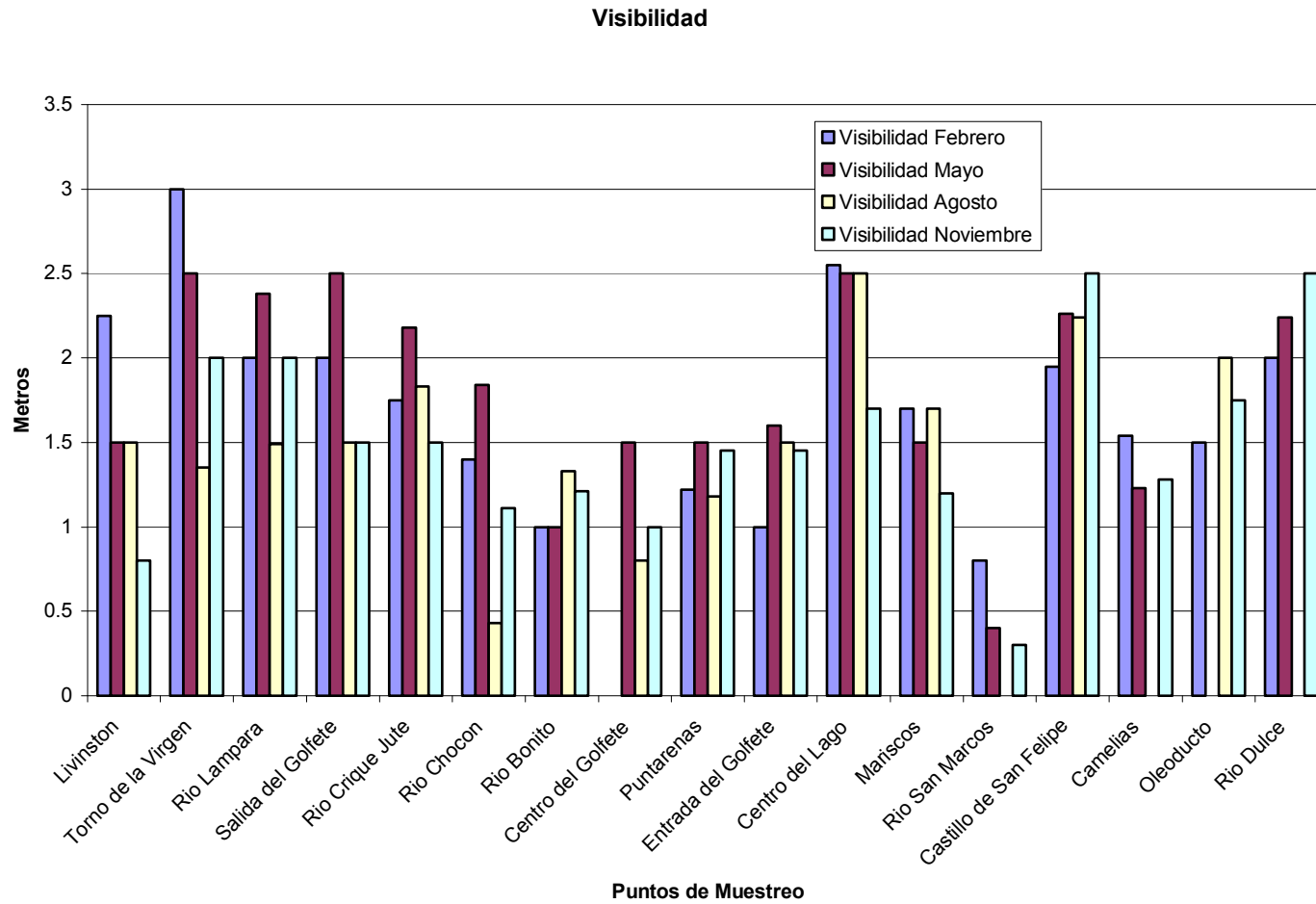


Gráfica 23. pH en los sitios de muestreo en el Río Dulce y Lago de Izabal durante los cuatro meses de muestreo en 2003.

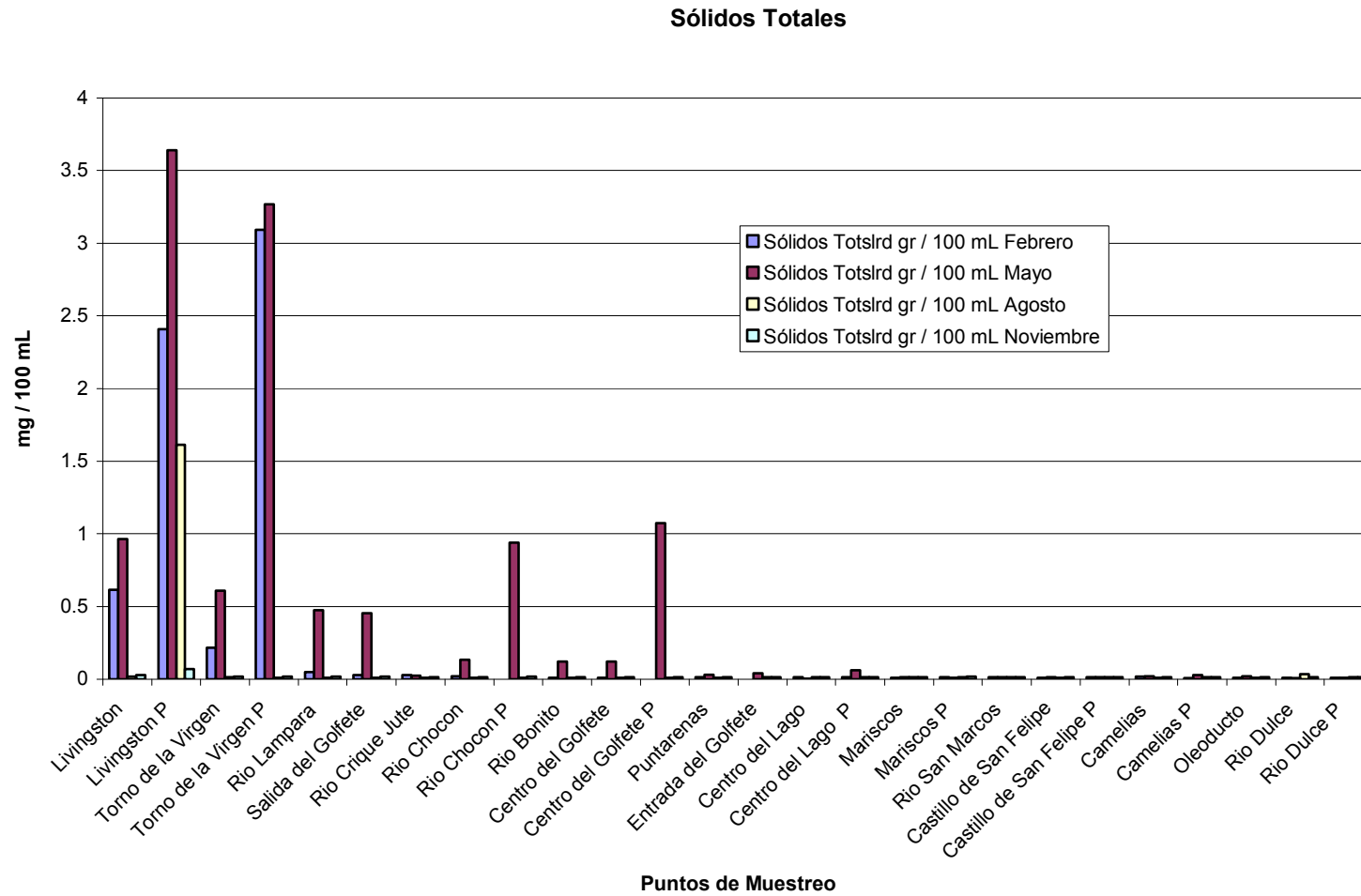




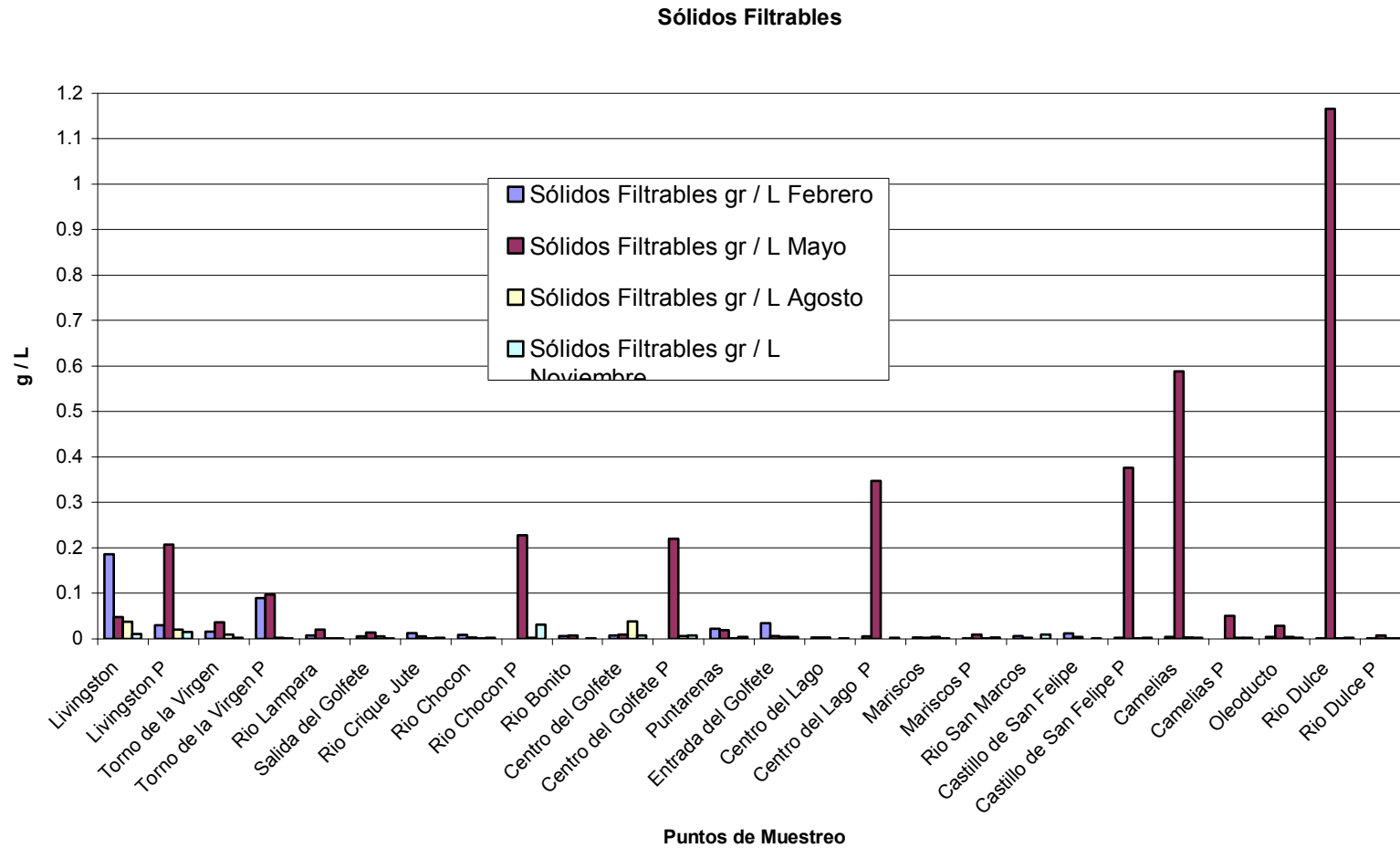
Gráfica 24. Conductividad en los sitios de muestreo en el lago de Izabal y Río Dulce en los cuatro muestreos efectuados en 2003.



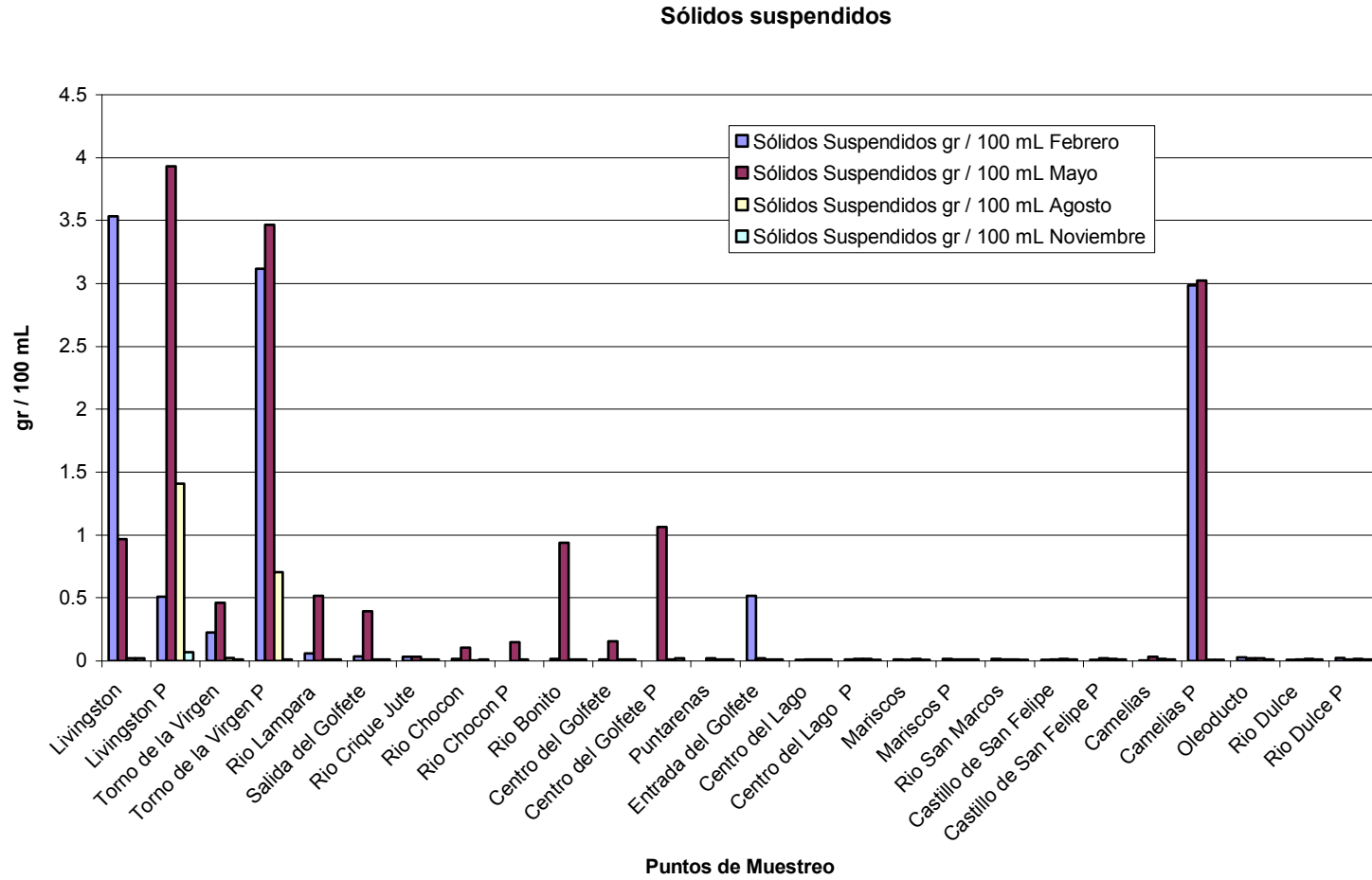
Gráfica 25. Transparencia en los sitios de muestreo en el lago de Izabal y Río Dulce durante los cuatro muestreos de 2003.



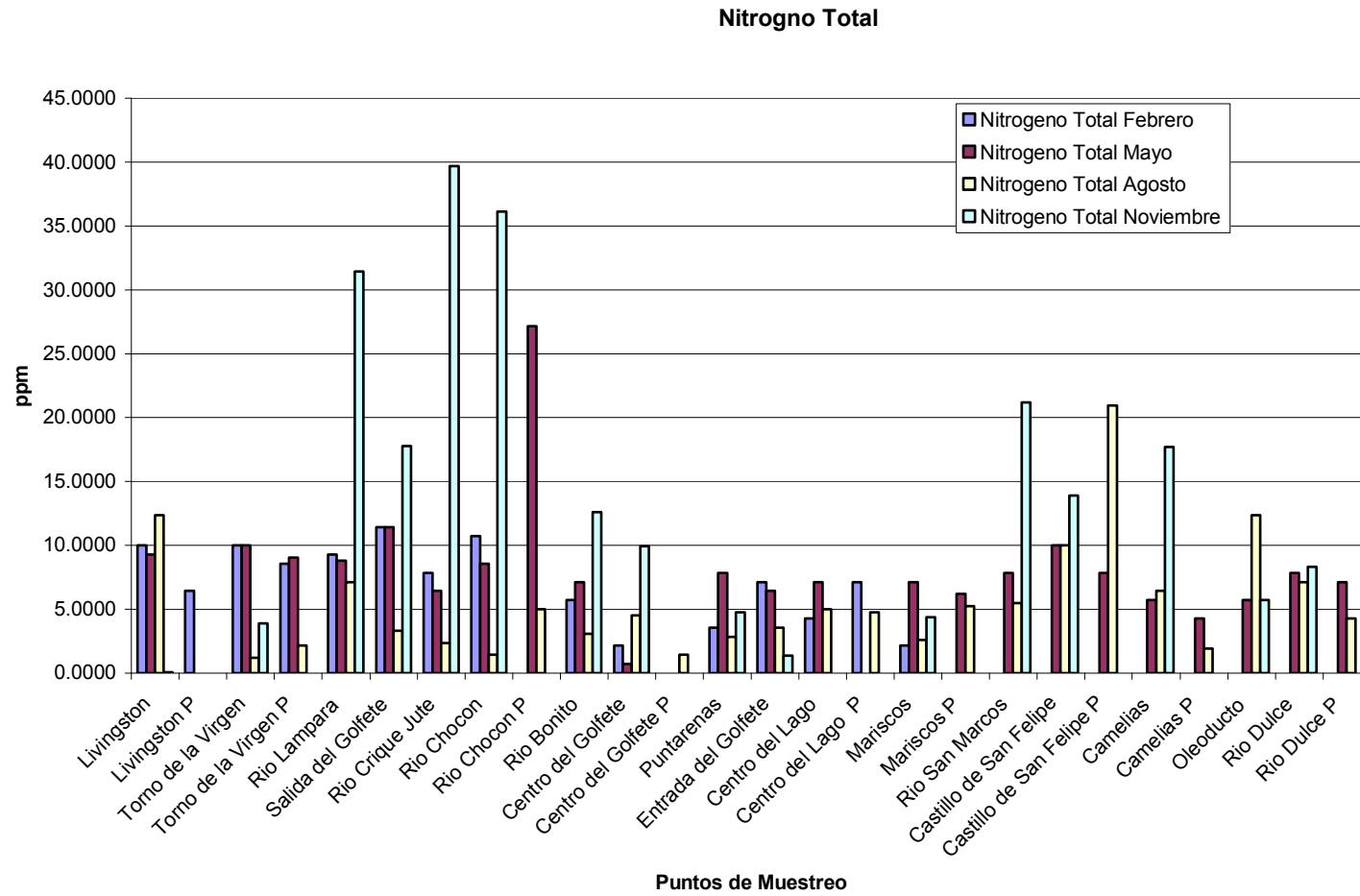
Gráfica 26. Sólidos totales en los puntos de muestreo en Río Dulce y Lago de Izabal, durante los cuatro meses de estudio en 2003.



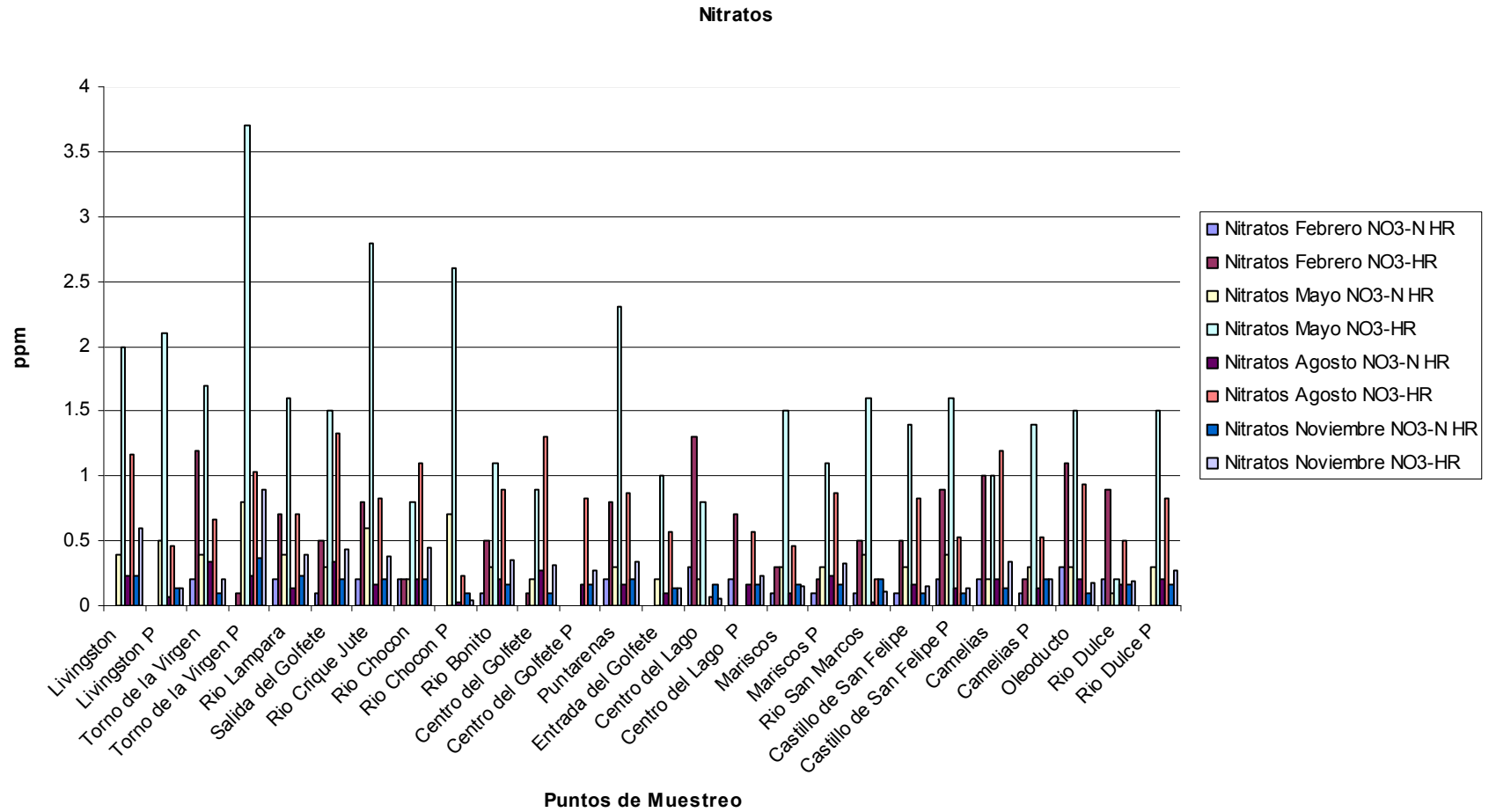
Gráfica 27. Sólidos filtrables en los sitios de muestreo de Río Dulce y Lago de Izabal, durante los cuatro meses de estudio en 2003.



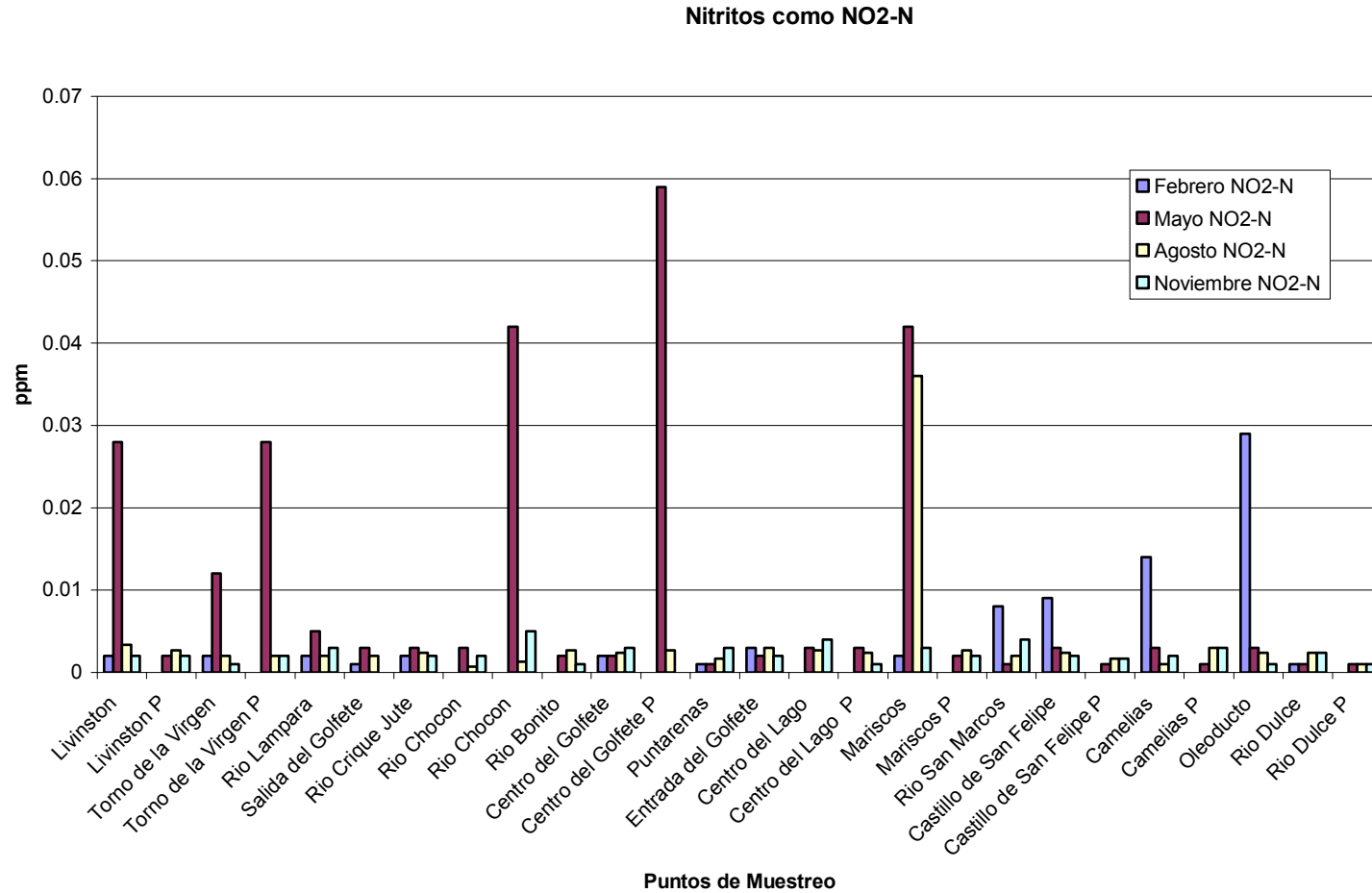
Gráfica 28. Sólidos suspendidos en los sitios de muestreo en Río Dulce y Lago de Izabal durante los cuatro meses de estudio en 2004.



Gráfica 29. Nitrógeno total en los sitios de muestreo de Río Dulce y Lago de Izabal durante los cuatro meses de estudio en 2003.

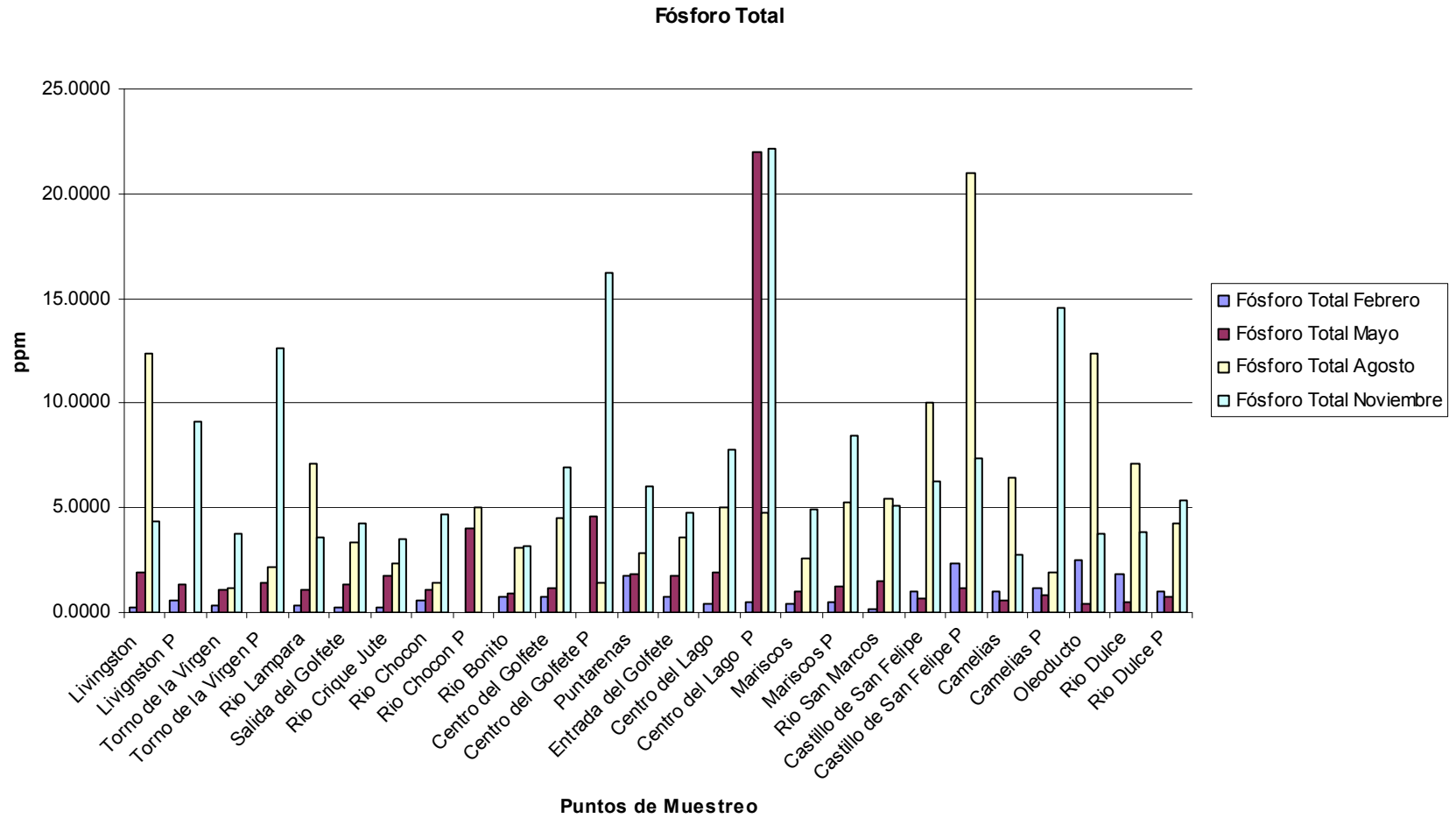


Gráfica 30. Nitrógeno de nitratos en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio en 2003.

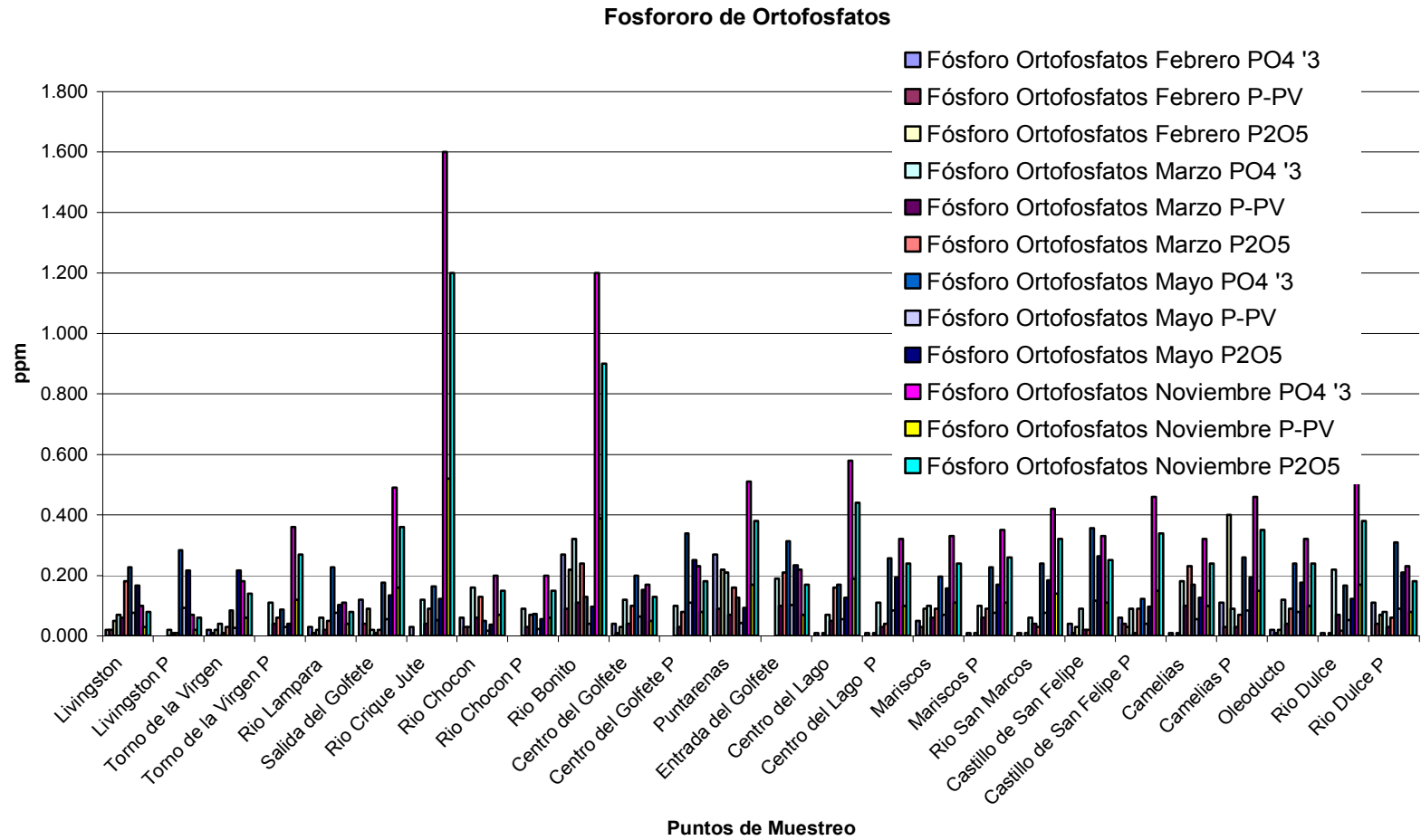


Gráfica 31. Nitrógeno de nitritos en los sitios de muestreo de Río Dulce y Lago de Izabal, durante los cuatro meses de estudio en 2003.

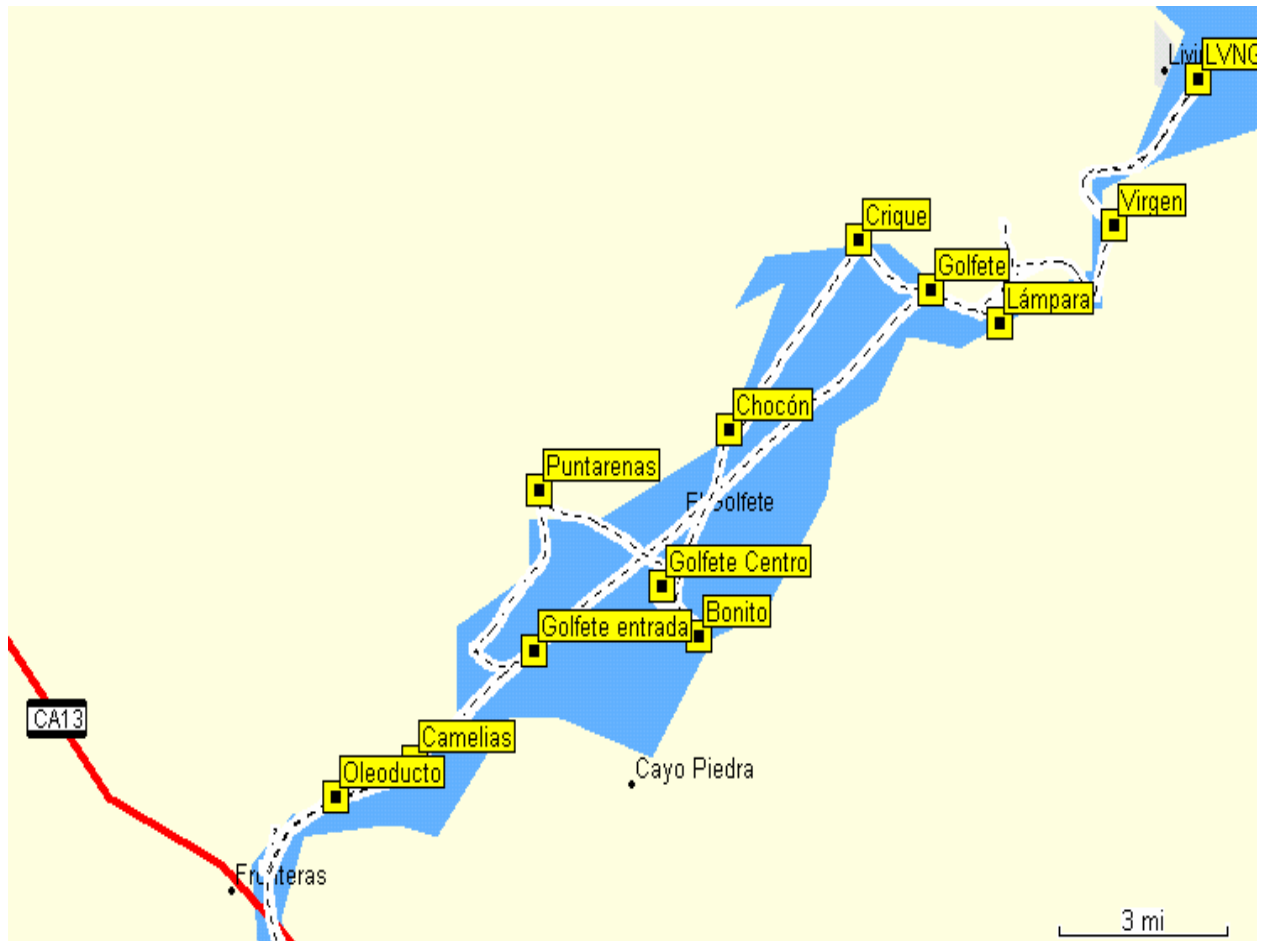




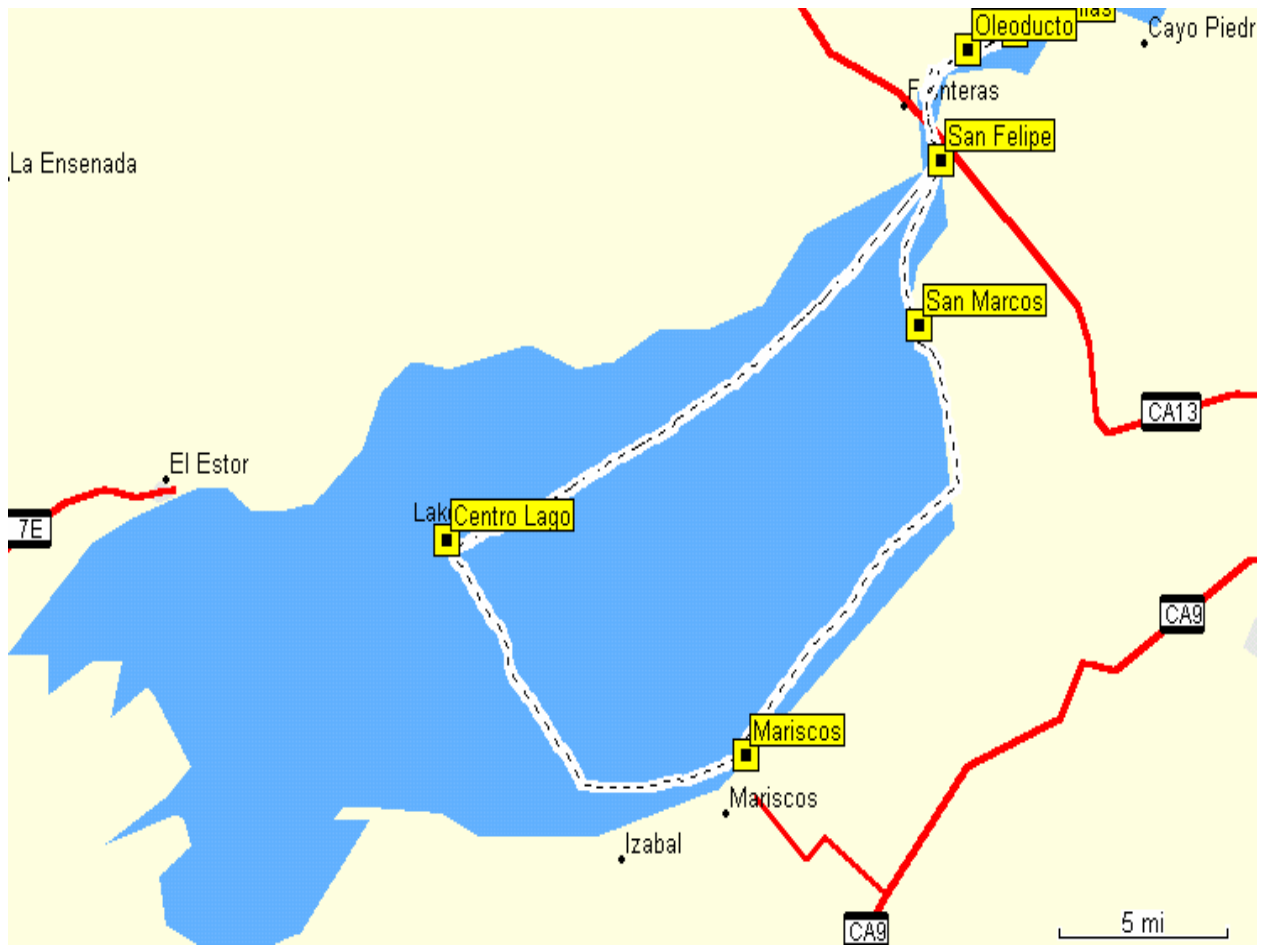
Gráfica 32. Fósforo Total en los sitios de muestreo en el Río Dulce y Lago de Izabal, durante los cuatro meses de estudio en 2003.



Gráfica 33. Fósforo de ortofosfatos en los sitios de muestreo durante los cuatro meses de estudio en 2003.



Mapa 1. Recorrido de los viajes de muestreo y ubicación de los sitios de muestreo en el Río Dulce.



Mapa 2. Recorrido de los viajes de muestreo y ubicación de los sitios de muestreo en el lago de Izabal.