Reporte interpretativo de calidad de agua en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic año 2003

El Estor, Izabal

Octubre,
2003

Fundación Defensores de la Naturaleza

The Nature Conservancy
SAVING THE LAST GREAT PLACES ON EARTH

USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

Fundación Defensores de la Naturaleza –FDN
The Nature Conservancy –TNC
The United Status Agency for Internacional Development- USAID
2003

Elaborado por:
Luis Pacas , FDN

Revisado por:
Genoveva Martínez, FDN

Fotografía:
Rony Mejia

Con la colaboración técnica de:
The Nature Conservancy
Programa Guatemala
Acuerdo Cooperativo USAID –TNC
#EDG-A-00-01-00023-00

Con el apoyo financiero de:
The United Status Agency for Internacional Development –USAID

Por medio del:
Programa Parques en Peligro – Sistema Motagua Polochic

La Oficina de Desarrollo Regional Sostenible, División de América Latina y el Caribe, de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y The Nature Conservancy –USAID/TNC- por medio del proyecto Parques en Peligro, conforme a las condiciones de la Donación No. EDG-A-00-01-00023-00. Las opiniones aquí expresadas pertenecen al autor y/o autores y no reflejan, necesariamente, las de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y The Nature Conservancy.

Introducción

El Lago de Izabal es el más grande de Guatemala, siendo su fuente principal de agua el Río Polochic (Brinson, 1976) el cual proporciona por lo menos el 70% del agua que entra al lago (Basterrechea, 1991). Según estudio s anteriores como el de Dix (1999) y Pacas (2003), concluyen que el Lago de Izabal se encuentra en un estado de eutrofización, debido al aumento de nutrientes, sedimentos y fitoplancton, así como plantas acuáticas, razón que exige mantener un monitoreo constante de la calidad del agua y evaluar así, el comportamiento de los parámetros físico-químicos del ecosistema acuático de la zona occidental del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes, en relación a parámetros normales y/o históricos.

El área de estudio abarca el RVSBP que es un humedal interior que está ubicado en el municipio de El Estor, Departamento de Izabal, en el Nororiente de Guatemala. Este sistema depende directamente de las aguas provenientes de la cuenca del Río Polochic y del agua presente en el Lago de Izabal, sitio que provee áreas de crianza para peces, mamíferos, reptiles, insectos y aves acuáticas, así como de diversidad de flora. Además, tiene gran valor como centro turístico, fuente de proteína animal, poblaciones endémicas y fuente de agua potable. Dada la importancia para el desarrollo futuro de la región, es de interés regional conocer el impacto de la calidad del agua que se descarga al Lago de Izabal.

Las razones planteadas motivaron el desarrollo de esta investigación, la cual tiene como objetivo primordial evaluar el comportamiento temporal de los parámetros físico-químicos y fitoplancton en el sistema acuático del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes", comparando los resultados contra estudios previos. Estos resultados son de utilidad para las autoridades encargadas del manejo de la cuenca, ya que contarán con una base científica e histórica, la cual puede ser utilizada para la formulación de planes de manejo y toma de decisiones para el desarrollo de la región.

Esta investigación fue financiada por la Fundación de Defensores de la Naturaleza, además se contó con el apoyo del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, de la Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Izabal (AMASURLI) y del Centro de Salud de El Estor que proporcionaron equipo y apoyo técnico

2. Objetivos de la investigación

2.1 Objetivo general

- Evaluar el estado trófico del sistema acuático de la zona occidental del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes; y el comportamiento temporal de los parámetros físico-químicos.

2.2 Objetivos específicos

- Ampliar la base de datos históricos de los parámetros físico-químicos del sistema acuático de la zona occidental del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes.
- Medir las cantidades de Nitrógeno y Fósforo presentes en el área de estudio.
- Generar mapas de los parámetros físico-químicos del agua, del sistema acuático de la zona occidental del Lago de Izabal.

3. Revisión de literatura

3.1 Antecedentes

Brinson (1976) menciona los procesos de la materia orgánica en las cuencas. También estimó que el tiempo de residencia del agua en el Lago de Izabal es de 6 meses. Además determinó que la producción primaria del lago es mayor en la estación seca y la producción total fue estimada en 1,400 gr O_2/m^2/año. Define que la principal fuente de deterioro de la calidad del agua son los sedimentos provenientes de los procesos de erosión en los suelos de la cuenca. El 43% y el 76% del área de las cuencas de los ríos Polochic y Cahabón, tienen una muy alta susceptibilidad a la erosión.

Basterrechea (1991) señala que el Río Polochic contribuye al menos con el 70% del agua que entra al lago. También menciona que la profundidad media del lago es de 11.6 m y la máxima de 16.8 m, la longitud y ancho máximos de 70 y 20 km, respectivamente. Encontró una termoclina de 2ºC a 13 m en el centro del lago en octubre, la cual había desaparecido en noviembre.

En 1993 Basterrechea, reporta una media de Oxígeno Disuelto de 5.5 mg/l en el Río Polochic, así mismo reporta niveles de Oxígeno Disuelto en el lago entre 7.14 y 6.38 mg/l. Menciona que el pH del lago varía entre 7.5 y 8.4 durante 1,991 y 1,992. Mediciones realizadas en ese estudio muestran variación de 1.174 mg/l de Nitrógeno total en la estación lluviosa y 0.746 mg/l en estación seca para el lago.

Castañeda (1995), menciona que el Lago de Izabal se encuentra medianamente eutrófico y contaminado, haciendo mención que las causas de esto se deben a la fuerte deforestación de la cuenca, así como la eliminación de los desechos urbanos. También indica que los principales usos de la cuenca son pesca, turismo y agua para consumo.

Machorro (1996) define a un lago eutrófico como un cuerpo de agua que tiene una concentración de Fósforo mayor a 20 μg/l; profundidad menor o igual a 10-15m; agua turbia y oscura; Oxígeno Disuelto menor al 10% de saturación, sedimento de fondo orgánico. También menciona que el lago es polimíctico y las temperaturas son similares entre la superficie y el fondo con una diferencia máxima de 2ºC. Además señala que durante períodos de lluvia alta se puede

desarrollar condiciones anóxicas en el fondo, las cuales juegan un papel en la liberación de nutrientes del fondo hacia la superficie.

Cardona (1997) menciona que el humedal tiene una importancia determinante en el mantenimiento de calidad de agua en el lago, y por ende en el mantenimiento de las pesquerías. Asimismo señala que el humedal contribuye con el balance hídrico de la zona, por lo tanto, la alteración del mismo afectaría el nivel freático de los alrededores.

El estudio sobre "El impacto de la cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal", realizado por Dix (1999), señala la importancia del ecosistema del Polochic como amortiguador de nutrientes y sedimentos que llegan al Lago de Izabal. En el mismo estudio menciona que el Lago de Izabal se encuentra en un proceso de eutrofización acelerada debido a los nutrientes y sedimentos durante los últimos 27 años.

Estudio que complementa la información generada por Dix (1999) es el realizado por Herrera (1999), en el cual define los indicadores biológicos de la calidad de agua del Río Polochic y de la integridad biológica del Lago de Izabal.

Pérez (1999), señala que los niveles altos de amoniaco en la mayoría de los puntos de muestreo son el resultado de contaminación directa por aguas negras y demuestran también la situación crítica en términos de contaminación.

Pacas (2003), concluye que la zona occidental del Lago de Izabal se encuentra en un estado eutrofización, debido a los niveles de nutrientes y las densidades de fitoplancton encontrados durante el estudio, siendo este un sistema que puede ser impactado fácilmente, debido a sus características morfométricas. Ademas menciona que el humedal de Bocas del Polochic tiene gran importancia para el mantenimiento del Lago de Izabal, ya que lo protege de las descargas de nutrientes y sedimentos provenientes de la Cuenca del Polochic, que aportan un 70% del agua que ingresa al lago, funcionando como un filtro biológico.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Descripción del área de estudio.

El área de estudio abarca los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal. En este último Departamento se encuentra el Lago de Izabal que es el más grande de Guatemala. El estudio abarca la zona occidental del lago, específicamente el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic (RVSBP), que es un humedal interior que está ubicado en el municipio de El Estor (Mapa 1 y 2, anexo). Este tiene una superficie de 207.60 km^2, de las cuales el 69.17 % corresponde a superficie boscosa, cuerpos de agua y cultivos y un 30.82 % a superficie lacustre. (Decreto Ley 38-96, en Fundación Defensores de la Naturaleza, 1997).

Este humedal está dentro de una zona de deposición aluvial del Río Polochic. Por ende está sujeto a inundaciones, tanto por lluvias, como por desbordamiento del río, ya que el cauce del río se encuentra más elevado con respecto a las áreas adyacentes (Fundación Defensores de la Naturaleza, 1997).

En el Departamento de Alta Verapaz se encuentran ubicados los siete ríos que abarca el estudio, de los cuales el Río Polochic es el principal y los restantes son tributarios del mismo. Estos ríos se describen a continuación:

a. **Río Polochic:** constituye el principal drenaje del departamento de Alta Verapaz, pasa por los poblados de Tamahú y La Tinta. Al llegar a la aldea Telemán, en terrenos sujetos a inundaciones, su curso serpentea, pero al llegar a la población de Panzós, vuelve a tomar rumbo Este, hasta su desembocadura en el Lago de Izabal después de recorrer aproximadamente 177 km. La corriente del Polochic desde su origen hasta la población de La Tinta no es navegable, luego de éste poblado hacia Panzós, es navegable con embarcaciones de poco calado, y de Panzós hasta su desembocadura, ofrece más facilidad para su navegación. Su área es de 2822 km^2 (Dix, 1999).
b. **Río Cahabón:** este río nace en los pantanos de Patal, de allí llega al Municipio de Tactic, el cual lo cruza de Este a Oeste, luego atraviesa los Municipios de Santa Cruz Verapaz y San Cristóbal Verapaz, y después de haber descrito desde su origen un gran semicírculo, continua en dirección Norte. Al llegar a la población de Cobán recibe el nombre de Río

Cobán, después de atravesar éste continua en la jurisdicción de los Municipios de San Pedro Carchá y Lanquín, antes de penetrar en tierras del Municipio de Cahabón. Se desliza en sierras de rocas calizas, y debido a la topografía, su corriente se vuelve más rápida, para luego desembocar en el Río Polochic. Debido al tipo de terreno (cárstico), recibe varios afluentes subterráneos. Su cauce es de aproximadamente 153km y el área de la sub-cuenca es de 2248 km^2 (Dix, 1999).

c. **Río Boca Nueva:** nace en el Municipio de Panzós, es el resultado de la unión de los ríos Canguacha y Carabajal, corre del Sur-Este al Sur, de la cabecera municipal de Panzós, descargando en el Río Polochic. Posee una longitud aproximada de 10 km (Dix, 1999), y un área de la cuenca de 176 km^2 (MAGA, 2001).

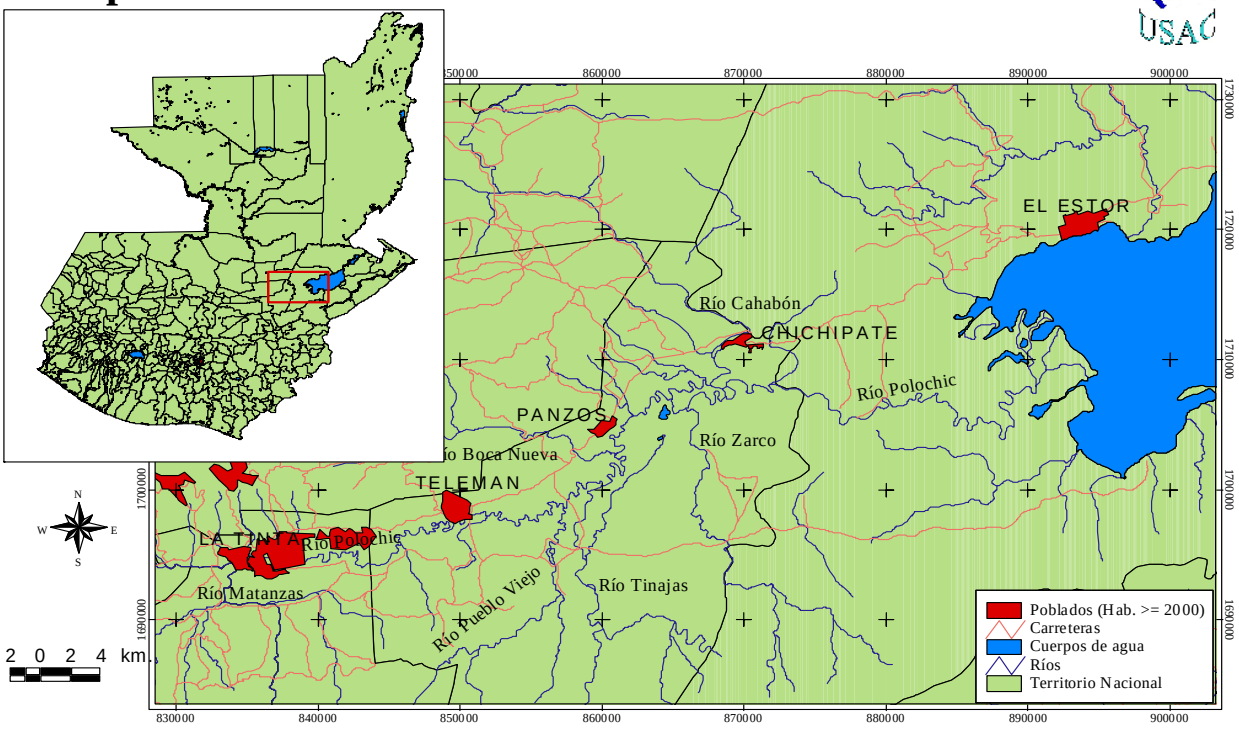
d. **Río Zarco:** nace al Oeste del Río Blanco y al Noreste del Cerro el Cañital (Sierra de las Minas). Al Sureste del casco de la finca Sepur, recibe a los ríos Cagua y Tze, continuando hacia el Norte, descargando en el Río Polochic en la zona de inundación, al Sur de la aldea Cahaboncito. Al Oeste del paraje Punta de rieles y al Este de la laguneta Manga Vieja. Posee una longitud aproximada de 74 km (Dix, 1999). Con un área de la cuenca de 228 km^2 (MAGA, 2001).

e. **Río Tinajas:** nace al Norte de la montaña El Licenciado (Sierra de las Minas), corre de Sur a Norte. Desembocan en su cauce los ríos El Imposible y Peñas Blancas. Atraviesa la Finca Tinajas y descarga en el Río Polochic a unos 3 km al Este de Panzós, en la laguneta San Vicente. Posee una longitud aproximada de 52 km (Dix, 1999). El area de la cuenca es de 229 km^2 (MAGA, 2001).

f. **Río Pueblo Viejo:** nace en la Sierra de las Minas y tiene un cauce aproximado de 20 km pasando por el pueblo del mismo nombre. Se junta con el Río Polochic en la Finca La Esperanza (Dix, 1999). El área de su cuenca es de aproximadamente 156 km^2 (MAGA, 2001).

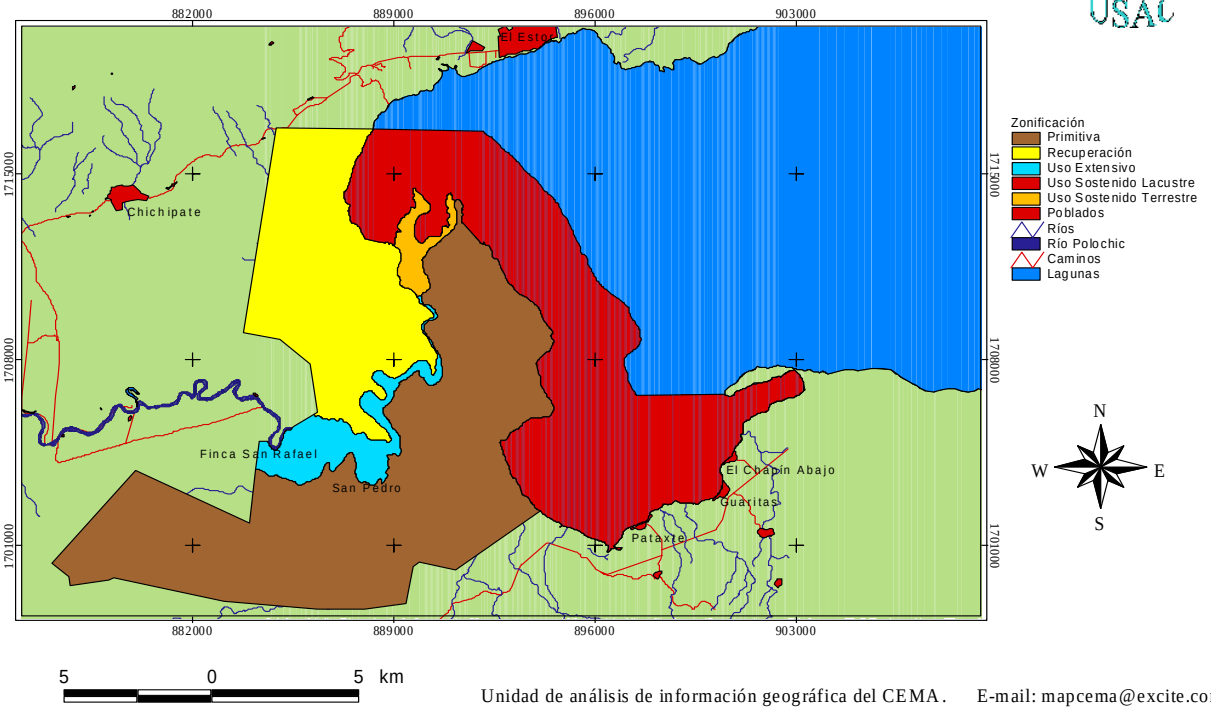
g. **Río Matanzas:** nace en la Sierra de las Minas en los ríos Chilasco y Panima, después se unen a su cauce el Río Samilja, el cual tiene el mismo nombre que el pueblo que atraviesa. Tiene un cauce aproximado de 12 km y un área de su cuenca es de aproximadamente 825 km^2 (MAGA, 2001).

Mapa 1: Ubicación del área de estudio



Unidad de análisis de información geográfica del CEMA. E-mail: mapcema@excite.com

Mapa 2: Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic



Unidad de análisis de información geográfica del CEMA. E-mail: mapcema@excite.com

3.2.2 Generalidades sobre los lagos.

Un lago es una extensión de agua rodeada de tierra por todas partes, pertenece a la categoría de aguas quietas o lénticas. Estos se forman por lo regular en las altas montañas por procesos de deshielo o movimientos tectónicos (Roldan, 1992).

La mayoría de los lagos en Guatemala tienen una formación volcánica, tales como Atitlán (Sololá), Amatitlán (Guatemala), Güija (Frontera Guatemala y El Salvador) y Ayarza (Santa Rosa). De origen tectónico, por el levantamiento de la plataforma marina, podemos mencionar Peten Itzá y el Lago de Izabal, que es una compleja cuenca formada por la depresión o espacio que dejó la separación entre la placa norteamericana y la del Caribe (Castañeda, 1995).

Para el estudio de los lagos, se tiene que tomar en cuenta los parámetros morfométricos, tales como profundidad, longitud, anchura, volumen, área, línea costera, tiempo de residencia del agua y altura sobre el nivel del mar (Roldan, 1992).

También pueden ser clasificados por su estratificación térmica, la cual varía de acuerdo con el clima, morfología, profundidad y composición química, así como también su posición geográfica (Roldan, 1992). Basándonos en la clasificación de los lagos de Hutchinson y Loffler (1956) y Hutchinson (1957) en Roldan (1992) el Lago de Izabal se clasifica como un lago polimíctico calido, definido como un cuerpo de agua con circulación frecuente a temperaturas muy superiores a los 4ºC. Las variaciones de temperatura anual son muy pequeñas, y el calentamiento diurno seguido del rápido enfriamiento nocturno, conjugado a veces con el viento, rompe fácilmente la débil estratificación que se forma en períodos cortos.

Roldan (1992) divide los lagos en zonas, siendo estas:

- **Zona litoral:** es el área periférica poco profunda del lago, está sujeta a fluctuaciones de temperatura y a la erosión de las orillas por efecto de la acción del oleaje. Esta zona se extiende hasta donde desaparece la vegetación acuática, presentando la mayor productividad.
- **Zona sublitoral:** es la zona continua a la litoral, no hay vegetación acuática, la fauna béntica es muy pobre y la disponibilidad de luz es escasa.

- **Zona profunda:** Cole (1983) la define como la zona suficientemente profunda para que presente una estratificación térmica en verano, aunque esta definición se aplica para los lagos tropicales donde la temperatura es más o menos constante durante el año, con estratificaciones poco duraderas. No hay penetración de la luz (en el caso de lagos profundos) y la fauna béntica es muy reducida o inexistente.
- **Zona de aguas abiertas:** llamada también zona pelágica o limnética, es la región donde el litoral y la zona profunda tienen poca influencia, allí vive el plancton y muchos otros organismos que flotan o nadan libremente.

  Zona trofogénica (epilimnio en zonas templadas): es aquélla en la cual se realiza toda la fotosíntesis, donde predominan los productores primarios. La zona limnética trofogénica se extiende hasta donde ya no penetra más la luz solar y donde se extingue la actividad fotosintetizadora.

  Zona de compensación: es aquélla en la cual se extingue la actividad fotosintética y comienza la respiración.

  Zona trofolítica (hipolimnio en zonas templadas): es aquélla donde predomina los fenómenos de respiración y oxidación de la materia orgánica.

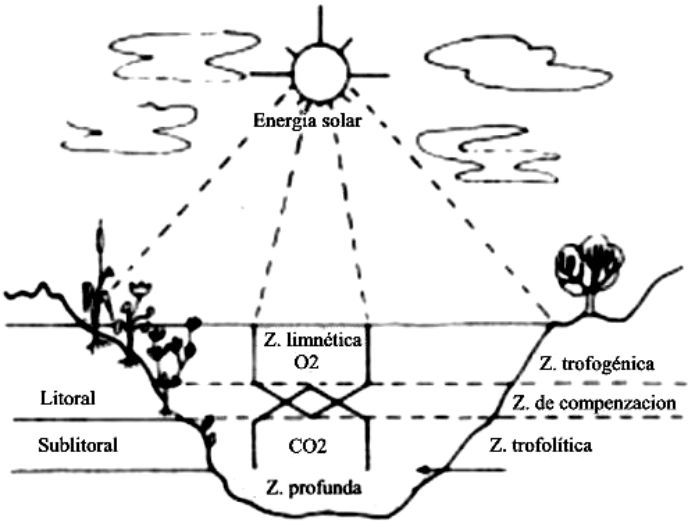


Figura 1. Zonificación ecológica de un lago (modificada de Cole, 1983), tomada de Roldan (1992).

3.2.3 Parámetros físicos

3.2.3.1 Temperatura

La temperatura del agua es un factor que tiene una gran influencia en la mayoría de los procesos químicos y biológicos del agua. Así como otros procesos como la solubilidad de los gases disueltos. A una elevada temperatura hace disminuir la solubilidad de los gases, por ejemplo, el Oxígeno Disuelto, además de aumentar la tasa de transferencia de gases o puede generar un mal olor en el caso de la liberación de gases con olores desagradables (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

Los organismos acuáticos poseen límites de tolerancia térmica superior o inferior, con temperaturas óptimas para el crecimiento y gradientes de temperatura que limitan las temporadas de migraciones, desove e incubación de huevos. Las variaciones de temperatura son partes del régimen climático normal de los cuerpos de agua de origen natural, presentan variaciones estacionales y diurnas, con estratificación vertical (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

3.2.3.2 Conductividad

Ésta expresa la capacidad del agua para transferir una corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones (sólidos disueltos) y la temperatura (Ramírez, 1998). Las principales fuentes de las sales naturales que se encuentran en las aguas corrientes y de origen antropogénico son: descargas industriales de sales, sal de consumo humano y a nivel comercial, excreciones de las sales por el hombre y por animales (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

Se expresa en microseimens por cm (µS/cm) o michomhos por cm (µmhos/cm). Está estrechamente relacionado con la salinidad y los sólidos disueltos, por lo que se pueden hacer tablas de equivalencia entre los valores (Roldan, 1992).

La medida de la conductividad en un cuerpo de agua es de mucha importancia, ya que se permite conocer acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. Además, altas diversidades de especies corresponden a menudo a bajas conductividades y viceversa. También puede proporcionar información valiosa como la que indica (Roldan, 1992):

a. La magnitud de la concentración iónica; los iones más responsables de la conductividad son los llamados macronutrientes (Ca, Mg, K, Na, carbonatos, cloruros y sulfatos).
b. La variación diaria de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica.
c. La detección de fuentes de contaminación.
d. La naturaleza geoquímica del terreno.

3.2.3.3 Sólidos disueltos totales

Éstos indican la cantidad de materia en solución y materia sólida cargada por el río. Los sólidos disueltos constituyen los iones solubles en el agua cuyos principales cationes y aniones son: Na^{+}, K^{+}, Ca_2^{+}, Mg_2^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-} y CO_3^{2-}, los cuales se incorporan al agua a través de la atmósfera durante las lluvias o en los suelos durante la escorrentía (Ramírez, 1998).

Se puede expresar como miligramos por litro (ml/l) o partes por millón (ppm). La concentración total de sustancias o minerales disueltos en las agua naturales, permiten conocer las relaciones edáficas y la productividad de un cuerpo de agua (Roldan, 1992).

3.2.3.4 Transparencia

Es una medida relativa de la claridad de un sistema acuático o la profundidad a la cual es posible ver dentro del agua (Owent, 1979). Está relacionada con los sólidos en suspensión y disueltos, así como las poblaciones de fitoplancton y zooplancton (Ramírez, 1998). Esta medida se hace con el disco de Secchi, el cual mide la profundidad de la zona fótica, la cual es expresada en metros (Roldan, 1992).

3.2.3.5 Sólidos sedimentables

Representan la materia en suspensión, lo cual puede ser utilizado para determinar la intensidad de la erosión (Dix, 1999).

3.2.4 Parámetros químicos

3.2.4.1 Fósforo

El Fósforo es de origen natural; de la disolución de los compuestos del suelo y de la materia orgánica en descomposición. El Fósforo de origen antropogénico proviene de los desechos domésticos e industriales, detergentes, heces de animales y fertilizantes. La presencia del fósforo en los cuerpos de aguas desencadena el crecimiento algal y otras plantas acuáticas desagradables (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

El Fósforo se mide normalmente como ortofosfato ($PO^{4=}$), ya que es la manera en que las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo. Es uno de los nutrientes menos abundantes y al mismo tiempo es el factor limitante en la productividad primaria (Roldan, 1992). Por lo cual las descargas de Fósforo en los cuerpos de agua, son las iniciadoras de los procesos de eutrofización (Dix, 1999).

En los trópicos, las altas temperaturas aumentan el metabolismo de las plantas y el fitoplancton, lo que hace que los ortofosfatos se consuman más rápidamente. Esto explica por qué los valores de ortofosfatos son por lo general muy bajos en lagos tropicales (Roldan, 1992).

3.2.4.2 Amoniaco

Es producto de los desechos metabólicos tanto de algas y organismos presentes en el medio, así como el resultado de la descomposición de la materia orgánica (Roldan, 1992) y la aplicación de fertilizantes en áreas agrícolas. Se utiliza normalmente como indicador de la contaminación reciente de un cuerpo de agua o la cercanía de una fuente de contaminación (Dix, 1999).

El amonio es muy tóxico en la forma de amoniaco, equilibrio que se desplaza al incrementarse el pH. Esto significa que al tener concentraciones altas de amonio y valores altos de pH, el grado de toxicidad del agua aumenta, desplazándose el equilibro hacia el amoniaco, pudiendo provocar muerte de peces (Dix, 1999).

3.2.4.3 Nitratos

El nitrato es la forma más común de Nitrógeno encontrada en las fuentes de agua. Las concentraciones de nitratos superiores a 5 mg/l, indican condiciones sanitarias inadecuadas (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001). Proviene de forma natural del último estado de la putrefacción de la materia orgánica por medio de las bacterias de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. También es liberado al agua por la descomposición natural de la materia nitrogenada de las aguas de desecho, como los fertilizantes agrícolas (Dix, 1999).

Los nitratos estimulan el crecimiento de plantas acuáticas, así como el de las algas que proliferan en la presencia de este químico, cuando los lagos o represas tiene elevadas concentraciones de nitratos puede provocar proliferaciones de algas, propiciando el proceso de eutrofización (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

3.2.4.4 Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración define el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y adaptaciones; y por ende establece toda la estructura y funcionamiento biótico (Ramírez, 1998).

El Oxígeno Disuelto es esencial para la manutención de procesos de autodepuración en los sistemas acuáticos naturales y plantas de tratamiento de agua. Durante la estabilización de la materia orgánica, las bacterias hacen uso del Oxígeno en sus procesos respiratorios, pudiendo causar una reducción del Oxígeno en el medio. Los efectos de los residuos oxidados sobre las aguas receptoras y la eficiencia de las plantas de tratamiento, puede ser evaluados por el Oxígeno Disuelto durante el proceso de oxidación bioquímica (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

La solubilidad del Oxígeno Disuelto en el agua, está influenciado por la salinidad, la presión barométrica (altitud) y la temperatura, por lo cual es necesario homologar los datos tomados en diferentes condiciones ambientales. Por eso la medición del porcentaje de saturación de Oxígeno

es necesaria para la estandarización de dichas variables en los diferentes ecosistemas (Ramírez, 1998).

En los lagos oligotróficos se conserva niveles más o menos constantes de Oxígeno y Dióxido de Carbono a lo largo del ciclo día-noche. En cambio en los lagos eutróficos existen por lo regular grandes variaciones de estos gases, por lo que es muy común que estos lagos se sobresaturan de Oxígeno durante el día y se desoxigenan durante la noche (Roldan, 1992).

3.2.4.5 pH

El pH es una medida de la concentración de iones de Hidrógeno en el agua. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática (por debajo de 7 son ácidas y por encima de 7 son alcalinas). Estos niveles de pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática. Éste parámetro puede variar debido a la fotosíntesis, concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, así como la actividad bacteriana, entre otros factores.

Si los valores se encuentran fuera de los rangos recomendados puede alterar el sabor del agua y contribuir a la corrosión del sistema de distribución del agua, ocurriendo así una extracción de Hierro, Cobre, Plomo, Zinc y Cadmio, dificultando la descontaminación del agua (Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2001).

El pH varía poco con la profundidad en los lagos polimícticos y oligomícticos de altas montañas tropicales. En los lagos y ciénagas de las partes bajas tropicales presentan rangos de pH de 5,0 9,0 dependiendo de su estado de eutrofización y alcalinidad (Roldan, 1992).

Las fuentes que modifican el pH de las aguas naturales son: el agua de lluvia al combinarse con el CO_2 atmosférico forma ácido carbónico, la contaminación del aire en áreas industriales lo que constituye la principal fuente de acidificación de las aguas naturales, por factores edáficos, por la explotación de la pirita y carbón, el Azufre que puede formar ácido sulfúrico en medios anaeróbicos y los ácidos húmicos los cuales se forman a partir de la descomposición vegetal (Roldan, 1992).

3.2.5 Parámetro biológico

3.2.5.1 Coliformes totales

Representan un indicador biológico de la posible presencia de otros microorganismos patógenos o deteriorantes debido a malas prácticas higiénicas, sanitarias, o de contaminación de origen ambiental, por las descargas de materiales orgánicos por escorrentía y de material fecal de origen humano y animal, sin tratamiento previo. Su presencia en número elevado solamente refleja la intervención humana y animal en el proceso de contaminación (Dix, 1999).

La norma de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) para agua potable indica que tanto coliformes totales como fecales deben ser NMP < 2/100 ml (Basterrechea, 1993).

3.2.6 Clasificación trófica de los cuerpos de agua.

Los cuerpos de agua pueden clasificarse por su estado trófico, éste estado está definido por el enriquecimiento del medio acuático con nutrientes, principalmente Nitrógeno y Fósforo (Ramírez, 1998). Provocando un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, las cuales, debido a su gran actividad fotosintética durante el día y respiración durante la noche, provocan cambios físico-químicos profundos, con fuertes oscilaciones de Oxígeno y pH en los ciclos día-noche (Roldan, 1992).

Las principales causas de los procesos de eutrofización son (Ramírez, 1998):

- **Procesos físico-químicos:** En ellos se incluye las características geológicas de la cuenca como el contenido de minerales y nutrientes en los suelos, sólidos, erosión, tasa de renovación del agua y características morfométricas.
- **Procesos nutricionales:** Incluyen la relación entrada-salida de los nutrientes y el tipo de vegetación existente.
- **Procesos antrópicos:** actividades humanas que causan variaciones en las tasas de entrada de nutrientes tales como descargas urbanas, industriales o agropecuarias (detergentes, abonos, herbicidas) o procesos de dragado, remoción de tierras, deforestación y cambios de escorrentía, entre otros.

Los términos oligotrófico, mesotrófico y eutrófico se utilizan para indicar la cantidad de nutrientes presentes en el agua (Roldan, 1978 en Ramírez, 1998). A continuación se presenta la clasificación trófica de los cuerpos de agua dependiendo los niveles de nutrientes.

Tabla 2. Clasificación de los lagos en base a la concentración de los compuestos nitrogenados según Vollenweider (1968) en Roldan (1992).

TIPO DE LAGO	AMONIACO (NH_3) mg/l.	NITRATOS (NO_3) mg/l.	NITRITOS (NO_2) mg/l.
Oligotrófico	0.0 – 0.3	0.0 – 1.0	0.0 – 0.5
Mesotrófico	0.3 – 2.0	1.0 – 5.0	0.5 – 5.0
Eutrófico	2.0 – 15.0	5.0 – 50.0	5.0 – 15.0

Tabla 3. Clasificación de los lagos en base a la concentración de Fósforo (Vollenweider, 1968, tomado de Esteves, 1988), tomado de Roldan (1992).

ESTADO TRÓFICO	FÓSFORO TOTAL (μgl^{-1})
Ultraoligotrófico	menor de 5
Oligomesotrófico	5 – 10
Mesoeutrófico	10 – 30
Eupolitrófico	30 - 100
Politrófico	mayor de 100

Tabla 4. Clasificación de los lagos en base a la concentración de Fósforo (USEPA Environmental Protection Agency de Mueller, (1987)), tomado de Ramírez (1998).

ESTADO TRÓFICO	CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL (mg/l)
Oligotrofia	< 0.01
Mesotrofia	0.01 – 0.02
Eutrofia	> 0.02

Tabla 5. Criterios de calidad del agua: niveles máximos en miligramos por litro (excepto que se indique otra unidad).

PARÁMETRO	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCO-LA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1 000	[1]	1 000	[6]	[1]	[1]
DBO	[6]	[6]	[6]	[6]	[6]	[6]
DQO	[6]	[6]	[6]	[6]	[6]	[6]
Nitratos (como N)	5	[6]	[6]	90	[6]	0.04
Nitrógeno amoniacal	[6]	[6]	[6]	[6]	0.06	0.01
Oxígeno Disuelto[2]	4	[6]	[6]	[6]	5	5
Sólidos disueltos totales	500	[6]	500[3]	1 000	[6]	[6]
Sólidos suspendidos totales	500	[6]	50	[6]	[4]	[4]
Fosfatos (como PO_4)	0.1	[6]	[6]	[6]	[5]	0.002

[1] Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

[2] Para Oxígeno Disuelto, los niveles establecidos deben considérarse como mínimos.

[3] La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l, y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

[4] Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de luz para la actividad fotosintética en más del 10% a partir del valor natural.

[5] Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada.

[6] No hay criterio ecológico.

Nota: Se incluyen sólo los parámetros utilizados en los cuadros de Calidad del Agua de ríos y lagos seleccionados presentados en esta publicación.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca –SEMARNAP- (2003).

Tabla 6. Normas internacionales para la calidad del agua de bebida, CEPIS-OPS-OMS (2003).

PARAMETRO	UNID.	OMS	GUT	MEX	NIC	PER	DOR	URU	VEN
Año		1995	1998	1988	1994	1999	1980	1996	1998
Origen		Valores guía	NGO 29001	NOM	CAPRE	DIGE-SA (pro-puesta)	NOR-DOM	Dto: 27335	-
Microbiológicos									
Coli fecales o *E. Coli*	UFC/100ml	0	< 2.2	0	0	0	0	0	-
Coliformes totales	UFC/100ml	0	< 2.2	2	£ 4	0	-	0	-
Bact. Heterotróficas	UFC/ml	-	-	-	-	500	-	500	-
Químicos de importancia para la salud									
Antimonio	Mg/L	0.005	-	-	0.05	0.005	-	-	-
Arsénico	"	0.01	0.05	0.5	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01
Bario	"	0.7	1	1	-	1	-	-	0.7
Boro	"	0.3	1	-	-	-	-	-	0.3
Cadmio	"	0.003	0.01	0.005	0.05	0.005	0.01	0.005	0.003
Cianuro	"	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0.1	0.07
Cobre	"	2	1.5	1.5	2	1	1.5	1	2
Cromo	"	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fluoruro	"	1.5	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.5	1.5
Manganeso	"	0.5	0.5	0.15	0.5	0.5	0.4	0.1	0.5
Mercurio	"	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	-	0.001	0.001
Molibdeno	"	0.07	-	-	-	-	-	-	0.07
Níquel	"	0.02	0.02	-	0.05	0.05	-	-	0.02
Nitrato	"	50	45	5	50	10	45	10	45
Nitrito	"	3	0.01	-	1	0.9	-	-	0.03
Plomo	"	0.01	0.1	0.05	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01
Selenio	"	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01
Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios									

Color	UCV	15	50	20	15	15	50	20	25
Olor	Varias	Sin	No rechaz.	Característico	25°	Acept.	-	Característico	Acept.
Sabor	Varias	-	No rechaz.	Característico	25°	Acept.	-	Característico	Acept.
Turbiedad	UNT	5	25	10	5	3	10	5	10
Temperatura	° C	-	34	-	30	-	-	-	-
Conductividad	m S/cm	-	-	-	400	1,500	-	-	-
Aluminio	Mg/L	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	-	0.5	0.2
Amoniaco	"	1.5	-	-	0.5	0.5	-	-	-
Cloruro	"	250	600	-	250	400	600	300	300
Dureza	"	-	500	300	400	500	500	500	500
Calcio	"	-	200	-	100	-	200	-	-
Magnesio	"	-	150	125	50	-	150	-	-
Hierro	"	0.3	1	0.3	0.3	0.3	0.7	0.3	1
PH	Unidad	-	9.2	8.5	8.5	8.5	9.2	9	9
Sodio	Mg/L	200	-	-	200	-	-	200	200
Sulfato	"	250	400	250	250	400	400	400	500
Alcalinidad total	"	-	-	400	-	-	-	-	-
Detergentes	"	-	1	-	-	0.5	1	0.2	-
Sólidos disueltos totales	"	1,000	1,500	-	1,000	-	1,500	1,000	1,000

OMS	Organización Mundial de la Salud	**VEN**	Venezuela
GUT	Guatemala	**MEX**	México
NIC	Nicaragua	**PER**	Perú
DOR	República Dominicana	**URU**	Uruguay

Códigos:

Tabla 7. Caracterización trófica de lagos y embalses de Vollenweider (1983), tomado de CEPIS, 2001.

CATEGORÍAS	CATEGORIZACIÓN LIMNOLÓGICA				
	ULTRA-OLIGOTRÓFICA	OLIGOTRÓFICA	MESOTRÓFICA	EUTRÓFICA	HIPERTRÓFICA
Biomasa	Muy baja	Baja	Mediana	Alta	Muy alta
Fracción de algas verdes y/o verdeazules	Baja	Baja	Variable	Alta	Muy alta
Macrofitas	Baja o ausente	Baja	Variable	Alta o Baja	Baja
Producción dinámica	Muy baja	Baja	Mediana	Alta	Alta Inestable
Dinámica de oxígeno: Epilímnico	Normalmente saturada	Normalmente saturada	Variable sobresaturada	Frecuentemente sobresaturada	Muy inestable variando desde una alta sobresaturación a falta completa
Hipolímnico	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variable subsaturada	Subsaturada a agotamiento completo	
Deterioro de los usos múltiples	Baja	Baja	Variable	Alta	Muy alta

4. Materiales y métodos

4.1 Materiales

4.1.1 Materiales y equipo de campo

- Lancha de fibra de vidrio, motor fuera de borda de 65 HP.
- Recipientes plásticos con tapadera 500 ml.
- Bolsas plásticas esterilizadas de 500 ml.
- GPS.
- Cámara fotográfica digital.
- Equipo de calidad de agua (Sondas de Oxígeno, conductividad, TDS, pH y temperatura).
- Espectrofotómetro DR/2010 de Hach con reactivos para análisis de fosfatos (PhosVer 3) y amoniaco (Salicilato).
- Botella de Van Dorn.
- Disco Secchi.
- Hielo.

4.1.2 Material y equipo de laboratorio

- Equipo de calidad de agua, Espectrofotómetro DR/2010 de Hach y reactivos para el análisis de nitratos (NitraVer 5).
- Agua destilada.
- Computadora con impresora.
- Software específico (Arc View 3.1 y componentes).

4.2 Metodología

Para la toma de datos de campo se contó con el apoyo del los Guardarecursos del Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP y del grupo técnico de AMASURLI, que realizaron análisis conjuntos para corroborar la veracidad de los datos.

También se contó con el apoyo de la Unidad de Análisis de Información Geográfica del CEMA, en la elaboración de mapas.

4.2.1 Plan de trabajo

La selección de los puntos se determinó basándose en los estudios realizados por Dix (1999) y Pacas (2002), para contar con datos que puedan ser comparativos con esos estudios. Se eligieron 18 puntos de muestreo, de los cuales nueve corresponden a los ríos y 9 al lago y desembocadura de ríos.

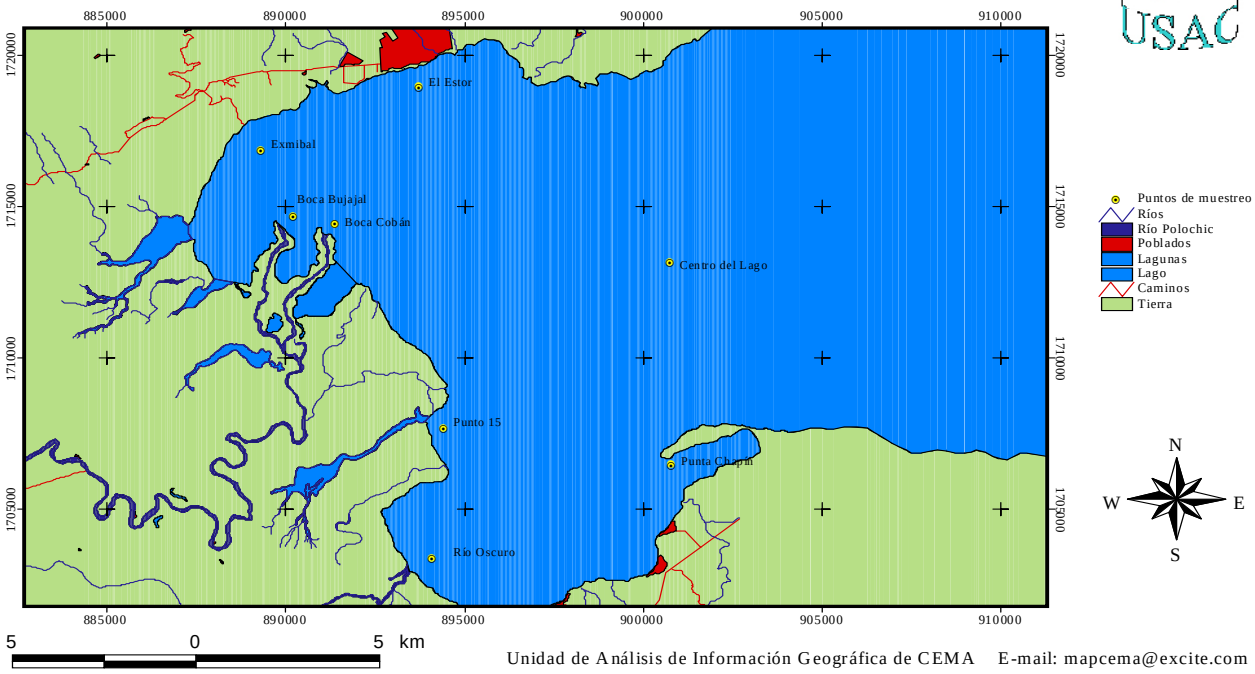
Para la ubicación de cada punto de muestreo se utilizó un GPS. Las coordenadas para cada punto (Tabla 8, anexo) están previamente establecidas en un mapa georeferenciado del lugar (Mapa 3 y 4).

La campaña de muestreo tuvo una duración de 4 días, éstos se distribuyeron de la siguiente manera:

- Dos días en campo tomando las muestras y datos *in-situ*.
- Dos días para el análisis de las muestras de agua y coliformes totales.

La duración del estudio fue de 5 meses, comenzando el mismo en marzo del 2003 y finalizándolo en julio del 2003. El trabajo de campo se realizó durante el mes de marzo y julio (en la última semana de cada mes), dividiéndose en dos fases: durante la primera se realizaron los muestreos en los puntos ubicados dentro del lago y las desembocaduras de los ríos, y se utilizó la lancha como medio de transporte. La segunda se llevó acabo en los ríos, la cual se realizó con un vehículo 4×4 para trasladarse a cada punto de muestreo.

Mapa 4: Puntos de muestreo en el lago



Unidad de Análisis de Información Geográfica de CEMA E-mail: mapcema@excite.com

4.2.2 Trabajo de campo

4.2.2.1 Toma de muestras

En cada punto primario se tomaron muestras de agua en recipientes de 500 ml, que se colocaron en una hielera a 4ºC y se trasladaron al laboratorio para determinar la cantidad de nitratos. Además, se recolectaron muestras de agua para el análisis de coliformes totales. Las muestras se obtuvieron a 20 cm de profundidad, éstas se colocaron en bolsas plásticos de 500 ml, las que se ubicaron dentro de la hielera para el traslado al laboratorio del Centro de Salud de El Estor para su análisis.

4.2.2.2 Toma de Datos

Se tomaron parámetros *in situ,* con la sonda multiparámetros Sension 156 y Sension 5 de Hach, las cuales se calibraron en el laboratorio antes de cada muestreo. Los parámetros que se tomaron fueron: temperatura, Oxígeno Disuelto, porcentaje de saturación de Oxígeno, conductividad, pH y sólidos disueltos totales. Los cuales se midieron solo en superficie.

Así mismo, se midió la transparencia con el disco Secchi, en cada uno de los lugares muestreados en el lago. El disco tiene un diámetro de 20 cm, de color blanco y negro, el cual está unido a un peso de 10 libras y a una cuerda que tiene marcada la longitud cada 50 cm.

Se realizaron los análisis de Fósforo y amoniaco, éstos se determinaron con el espectrofotómetro DR/2010 de Hach, usando el método del ácido ascórbico para los fosfatos y el de salicilato para el amoniaco.

4.2.3 Trabajo de laboratorio

4.2.3.1 Análisis de Nutrientes

Para el análisis de nitratos se utilizó el espectrofotómetro DR/2010 de Hach. La determinación de esté nutriente se realizó con el método de reducción de Cadmio. Estas muestras se almacenaron a 4ºC y se analizaron en un lapso no mayor de 48 horas, después de haberlas recolectado.

4.2.3.2 Análisis de coliformes Totales

Las muestras de coliformes totales ser analizaron en el Centro de Salud de El Estor, para lo cual utilizaron el método del filtro por membrana, el cual consiste en filtrar mediante una bomba al vació, un volumen de agua a través de un filtro de membrana. El filtro se pasa luego a un medio de cultivo selectivo y diferencial (Roldan, 1992). Luego se coloco en una incubadora a temperatura constante durante 24 horas y luego se cuentan las colonias y se expresan en bacterias coliformes por 100 ml de muestra.

4.2.3.3 Análisis de datos

El análisis de los datos se llevó a cabo con Excel y ArcView. En Excel se desarrolló la base de datos, gráficas, tablas por cada parámetro y sus promedios, desviaciones estándar y correlaciones entre parámetros.

Se clasificaron los datos en tres secciones para su mejor presentación e interpretación, utilizando la codificación siguiente:

> **Sección A:** en está sección se encuentran los puntos que se tomaron en el Río Polochic, a lo largo de su cauce. Estos cuatro puntos son: el número 2 en La Tinta, el 6 en Telemán, el 8 en Panzós y el 15, a 6 km antes de la desembocadura del Río Polochic.
>
> **Sección B:** en está sección se encuentran los tributarios del Río Polochic, siendo dos del lado de Sierra Santa Cruz (ríos Cahabón y Boca Nueva) y cuatro del lado de Sierra de las Minas (ríos Matanzas, Tinajas, Pueblo Viejo y Zarco).
>
> **Sección C:** en está sección se encuentran los puntos que se seleccionaron dentro del lago, considerados como primarios. Siendo éstos El Estor, Boca Bujajal, Boca Cobán, Río Oscuro, Punta Chapín y Centro del Lago.

El programa de ArcView se utilizó para la elaboración de mapas sobre los parámetros físico-químicos, en los cuales se presenta una distribución espacial para cada uno de los parámetros dentro del Lago de Izabal en la zona occidental. Los mapas demuestran el comportamiento de cada parámetro en época lluviosa y seca.

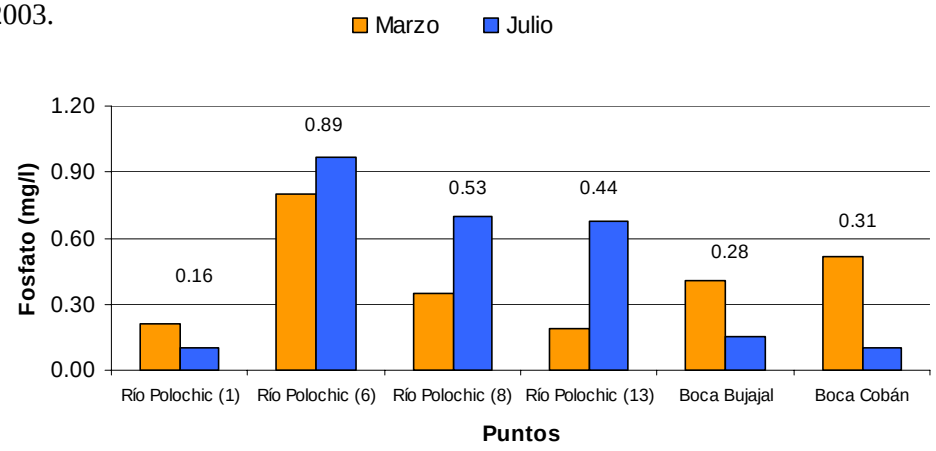
5. Resultados

5.1 Nutrientes

5.1.1 Fósforo

Se observa en la figura 2 que los niveles de fosfatos en promedio son más altos en el mes de julio. También puede apreciarse que durante los meses de estudio se presenta una tendencia similar a los largo del río con un aumento del punto 1 (La Tinta) al punto 6 (Telemán) siendo esté el que tiene el promedio más alto con 0.89 mg/l. Luego los valores de fosfatos comienza a disminuir hasta la desembocadura del Río Polochic, con excepción del mes de marzo que presento un aumento en las Bocas del Polochic.

Figura 2: Cantidad de fosfatos (PO_4^3) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



Se observan las mayores concentraciones de fosfatos en Bocas del Polochic y El Estor con rangos de 0.41 a 0.52 mg/l, las concentraciones más bajas se encuentran en el lado sur de la zona de estudio, siendo el valor más bajo en Punta Chapín con 0.08 mg/l. Este comportamiento es contrario durante el mes de julio, presentando los mayores datos de fosfatos en el Río Oscuro con 0.92 mg/l, como puede apreciarse en el mapa 6.

En los tributarios del Río Polochic se puede apreciar un aumento de fosfatos durante el mes de julio con un promedio de 0.69 mg/l. Siendo los ríos Cahabón y Pueblo Viejo los que presentaron el promedio más altos con 0.79 mg/l (Tabla 9). Aunque es muy probable que los promedios más altos se presentaran en los ríos Pueblo Viejo, Tinajas y Zarco, por la tendencia de los fosfatos a aumentar en el mes de julio, pero no fue posible muestrearlos debido al crecimiento de los ríos.

Tabla 9: Cantidad de fosfatos (PO_4^3) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

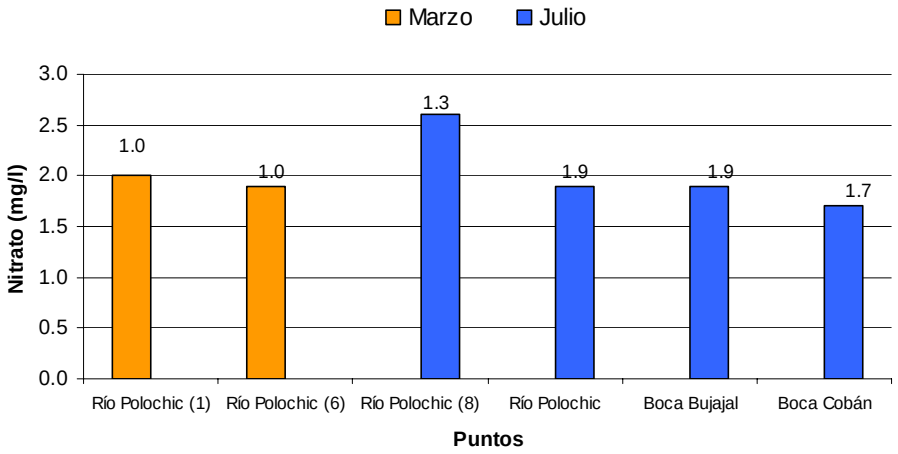
PUNTO	NOMBRE	FOSFATOS/MES (mg/l)		PROMEDIO POR PUNTO
		MARZO	JULIO	
2	**Río Matanzas**	0.10	0.16	**0.13**
3	**Río Zarco**	0.59		**0.59**
4	**Río Tinajas**	0.57		**0.57**
5	**Río Pueblo Viejo**	0.76		**0.76**
7	**Río Boca Nueva**	0.41	0.62	**0.52**
9	**Río Cahabón**	0.21	1.30	**0.76**
PROMEDIO MENSUAL		**0.44**	**0.69**	**0.55**

5.1.2 Nitrógeno

5.1.2.1 Nitratos

En promedio general del estudio es de 1.5 mg/l. En la figura 3 se puede observar que los nitratos en el Río Polochic durante el mes de marzo tienen una tendencia a disminuir del punto 1 (La Tinta) con 2.0 a 0 mg/l en el punto 8 (Panzós), aunque no es posible determinar cual fue su comportamiento en el tramo final antes de desembocar al lago, ya que no se pudieron obtener esos datos, debido a las malas condiciones climáticas. Contrariamente al comportamiento presentado en marzo el valor más alto se presento en Panzós con 2.6 mg/l, disminuyendo este valor hasta su desembocadura. En los primeros puntos del río los valores de nitratos fueron 0.

Figura 3: Cantidad de nitratos (NO_3) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



SE puede apreciar que los valores más altos se encuentran en El Estor y Exmibal con 3.3 y 2.7 mg/l respectivamente y los más bajos en el Punto 15 y Punta Chapín con 0 y 1.2 correspondientemente.

En los tributarios el mes de marzo fue el que presento los valores más altos con un promedio de 1.0 mg/l. Observándose las mayores concentraciones en los ríos Pueblo Viejo, Tinajas y Boca Nueva con rangos promedio de 1.2 a 0.9 mg/l.

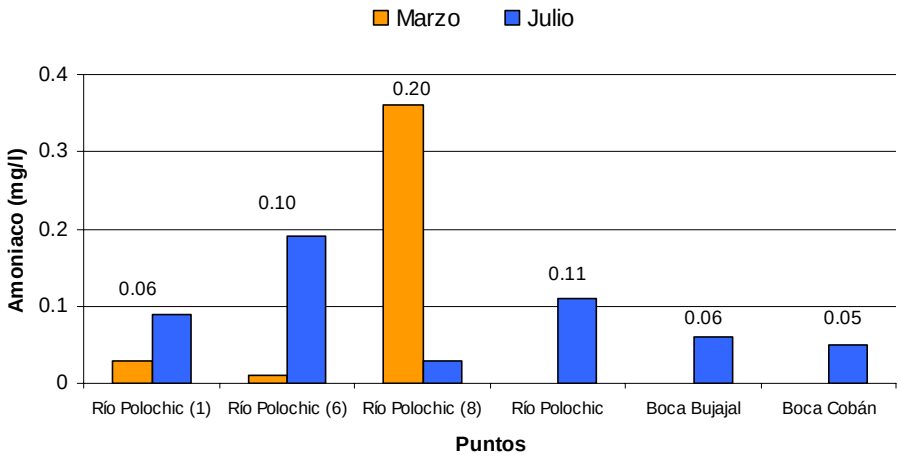
Tabla 10: Cantidad de nitratos (NO_3) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	NITRATOS/MES (mg/l)		PROMEDIO
		MARZO	JULIO	POR PUNTO
2	**Río Matanzas**	1.7	0.0	**0.9**
3	**Río Zarco**	0.7		**0.7**
4	**Río Tinajas**	0.3		**0.3**
5	**Río Pueblo Viejo**	1.2		**1.2**
7	**Río Boca Nueva**	1.0	0.8	**0.9**
9	**Río Cahabón**	1.2	0.0	**0.6**
PROMEDIO MENSUAL		**1.0**	**0.3**	**0.8**

5.1.2.2 Amoniaco

En promedio general del estudio es de 0.07 mg/l. En el Río Polochic en el punto 8 (Panzós) durante el mes de marzo se presentó el valor más alto con 0.36 mg/l. No se puede definir una tendencia en el amoniaco ya que de igual forma que con los nitratos no se pudo obtener estos datos debido a las condiciones climaticas.

Figura 4: Cantidad de amoniaco (NH_3) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



En el lago la mayor concentración de amoniaco se presenta en Boca Bujajal y en el punto llamado Centro del Lago con 0.06 mg/l. En El Estor se observo el menor valor con 0.01 mg/l .

En la tabla 11 se puede apreciar que los mayores valores en los tributarios del Río Polochic se observan durante el mes de julio con un promedio de 0.09 mg/l, siendo el Río Matanzas el que presenta el promedio más alto con 0.09 mg/l y menor en el Río Boca Nueva con 0.02 mg/l.

Tabla 11: Cantidad de amoniaco (NH_3) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	AMONIACO/MES (mg/l)		PROMEDIO POR PUNTO
		MARZO	JULIO	
2	**Río Matanzas**	0.04	0.14	**0.09**
3	**Río Zarco**	0.04		**0.04**
4	**Río Tinajas**	0.04		**0.04**
5	**Río Pueblo Viejo**	0.02		**0.02**
7	**Río Boca Nueva**	0.01	0.03	**0.02**
9	**Río Cahabón**	0.00	0.11	**0.06**
PROMEDIO MENSUAL		**0.03**	**0.09**	**0.04**

5.2 Oxigeno Disuelto

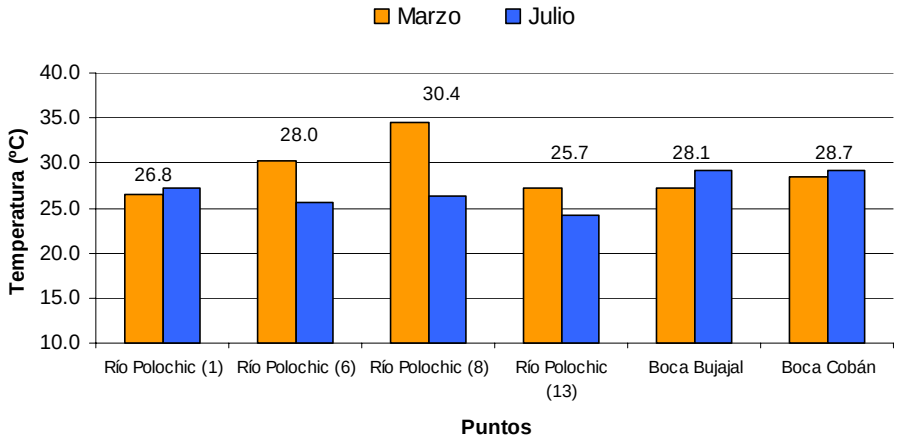
No se pudo obtener los datos de Oxígeno Disuelto, ya que la membrana se daño. Este es un dato muy importante para el análisis de los datos, aunque por lo que se a observado durante los años de estudio, los niveles de Oxígeno siempre han sido alto con excepción de Río Oscuro que tiene alto contenido de materia orgánica, por lo que hay una demanda bioquímica de Oxígeno alta y Río Polochic a la altura de Panzós, debido a la extracción de arena y la disminución de la corriente en esa área, como reporta Pacas (2003).

En el lago durante el mes de julio fue posible obtener datos, gracias al apoyo de AMASURLI, quienes muestrearon conjuntamente con el grupo de investigación de Defensores de la Naturaleza. SE observa la mayor cantidad de Oxígeno en el centro del lago, y los valores más bajos se encuentran en el Río Oscuro con 2.7 mg/l.

5.3 Temperatura

En la figura 4 se puede observar que en el Río Polochic el punto 8 (Panzós) es el que presenta el valor promedio más alto con 30.4 ºC y el más bajo se encuentra en el punto 4 con 25.7 ºC. Se puede apreciar una tendencia de aumento de la temperatura del punto 1 (La Tinta) a Panzós, luego disminuye en el punto 13 y comienza a aumentar hasta desembocar en el Lago de Izabal.

Figura 4: Temperatura (ºC) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



Durante el mes de marzo en el lago se puede apreciar que las temperaturas más altas se encuentran el El Estor y la zona cercana al Río Oscuro (Mapa 11), contrario a esto en el mes de julio estas son las áreas que presentan las temperaturas más bajas (Mapa 12). En el mes de marzo la menor temperatura se observó en la desembocadura del Río Polochic con 27.2º C. El mes de julio reporto la mayor temperatura promedio en el lago con 29.4ºC, en comparación de marzo con 28.8ºC.

En los tributarios del Polochic se presento la menor temperatura promedio en el mes de julio con 24.9ºC, mientras que el marzo fue de 28.9ºC. Las temperaturas más bajas se observaron en los ríos Boca Nueva y Cahabón con 25.7 y 25.2ºC respectivamente. Las temperaturas más altas se presentaron el los ríos Pueblo Viejo, Zarco y Tinajas. Aunque debido a la crecida de los ríos no fue posible muestrear éstos, durante el mes de julio, aunque por la tendencia que presentaron todos los puntos de los demás ríos

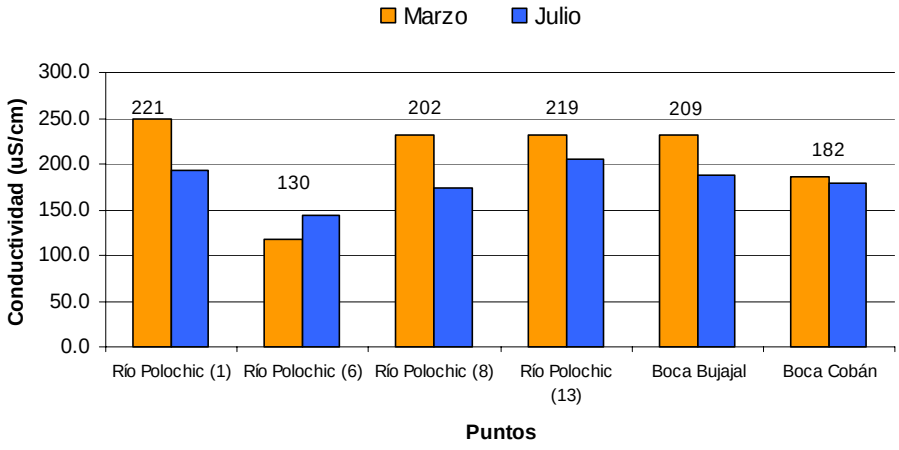
Tabla 12: Temperatura (ºC) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	TEMPERATURA/MES (ºC)		PROMEDIO POR PUNTO
		MARZO	JULIO	
2	**Río Matanzas**	28.2	26.4	**27.3**
3	**Río Zarco**	30.1		**30.1**
4	**Río Tinajas**	31.9		**31.9**
5	**Río Pueblo Viejo**	30.2		**30.2**
7	**Río Boca Nueva**	27.1	24.2	**25.7**
9	**Río Cahabón**	26.1	24.2	**25.2**
PROMEDIO MENSUAL		**28.9**	**24.9**	**28.4**

5.4 Conductividad

El promedio general del estudio fue de 185.4 µS/cm. En la figura 5 se puede apreciar que la mayor conductividad de encuentra en el punto 1 (La Tinta), con un promedio de 221 µS/cm y la menor se observa en el punto 6 (Telemán) con 130 µS/cm. En marzo se presento la mayor conductividad con 177 µS/cm en relación a julio que fue de 169 µS/cm.

Figura 5: Conductividad (µS/cm) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



Se puede apreciar que los valores más altos se encuentran en Bocas del Polochic, aunque en general el lago presenta mayores valores que en la época lluviosa (julio). En julio la mayor

conductividad se encuentra en el área Norte de estudio, asimismo se observa que la conductividad más baja se encuentra en la zona del Río Oscuro y Punta Chapín (Mapa 14).

Los ríos Boca Nueva y Cahabón son los que presentan la mayores conductividades de los tributarios del Polochic muestreados. Río Pueblo Viejo es el que tiene la menor conductividad con 25.4 µS/cm, seguido de los ríos Zarco y Tinajas con 35.4 y 39.8 µS/cm respectivamente.

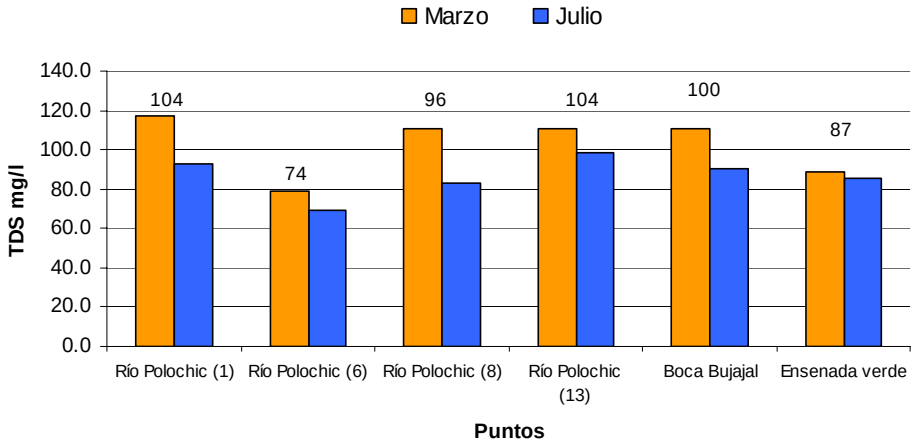
Tabla 13: Conductividad (µS/cm) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	CONDUCTIVIDAD/MES (uS/cm)		PROMEDIO
		MARZO	JULIO	POR PUNTO
2	**Río Matanzas**	91.0	103.5	**97.3**
3	**Río Zarco**	35.4		**35.4**
4	**Río Tinajas**	39.8		**39.8**
5	**Río Pueblo Viejo**	25.4		**25.4**
7	**Río Boca Nueva**	331.0	196.6	**263.8**
9	**Río Cahabón**	255.0	224.0	**239.5**
PROMEDIO MENSUAL		**129.6**	**174.7**	**116.9**

5.5 Sólidos disueltos totales (TDS)

Los sólidos disueltos totales presentan un comportamiento similar a la conductividad, ya que estos están relacionados entre si. Al igual que en la conductividad se observa el valor más alto en el punto 1 y el 13, y el más bajo se presenta en el punto 6 (Figura 6).

Figura 6: Sólidos disueltos totales -TDS- (mg/l) en diferentes segmentos del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.



Durante el mes de marzo la mayor concentración de TDS se observo en la desembocadura del Río Polochic, principalmente en Boca Bujajal la menor concentración se aprecia en el área del

Río Oscuro. Durante julio se observa la mayor cantidad de TDS en el área Norte de estudio, asimismo se observa que el TDS más bajo en la zona del Río Oscuro y Punta Chapín.

En la tabla 14 se puede apreciar que la mayor cantidad de TDS en los tributarios se presento en el mes de marzo, siendo los ríos Boca Nueva y Cahabón los que aportan la mayor cantidad de sólidos disueltos totales al Río Polochic con valores promedio de 126 y 115 mg/l respectivamente.

Tabla 14: Sólidos disueltos totales -TDS- (mg/l) en diferentes afluentes del Río Polochic, en los meses de marzo y julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	TDS/MES (ºC)		PROMEDIO
		MARZO	JULIO	POR PUNTO
2	**Río Matanzas**	43.1	49.1	**46.1**
3	**Río Zarco**	16.4		**16.4**
4	**Río Tinajas**	18.5		**18.5**
5	**Río Pueblo Viejo**	11.7		**11.7**
7	**Río Boca Nueva**	159.4	94.0	**126.7**
9	**Río Cahabón**	122.6	107.3	**115.0**
PROMEDIO MENSUAL		**62.0**	**83.5**	**55.7**

5.6 pH

Durante este estudio solo fue posible contar con datos de pH del mes de julio, ya que durante el primer muestreo el equipo presento fallas, por lo cual no se puede contar con esos datos. El promedio general del estudio fue de 8.25. Los pH más bajos e observaron en el Río Oscuro y en el Río Polochic a la altura de Panzós. Los valores mayores se pueden apreciar en los puntos de Exmibal y Centro del Lago y en los ríos en punto 1 (La Tinta) y Río Cahabón. (Tabla 15).

Tabla 15: pH en la zona occidental del Lago Izabal, Río Polochic y sus tributarios, en los meses julio del 2003.

PUNTO	NOMBRE	pH		PUNTO	NOMBRE	pH
1	Río Polochic (1)	8.57		**10**	El Estor	8.47
6	Río Polochic (6)	8.29		**11**	Exmibal	8.82
8	Río Polochic (8)	7.39		**12**	Boca Bujajal	8.07
13	Río Polochic (13)	8.12		**14**	Boca Cobán	8.21
7	Río Boca Nueva	8.41		**15**	Punto 15	8.47
9	Río Cahabón	8.50		**16**	Río Oscuro	7.38
2	Río Matanzas	8.20		**17**	Punta Chapín	8.14
3	Río Zarco			**18**	Centro del Lago	8.82
4	Río Tinajas					
5	Río Pueblo Viejo					
PROMEDIO DE RIOS		**8.21**		**PROMEDIO DEL LAGO**		**8.30**

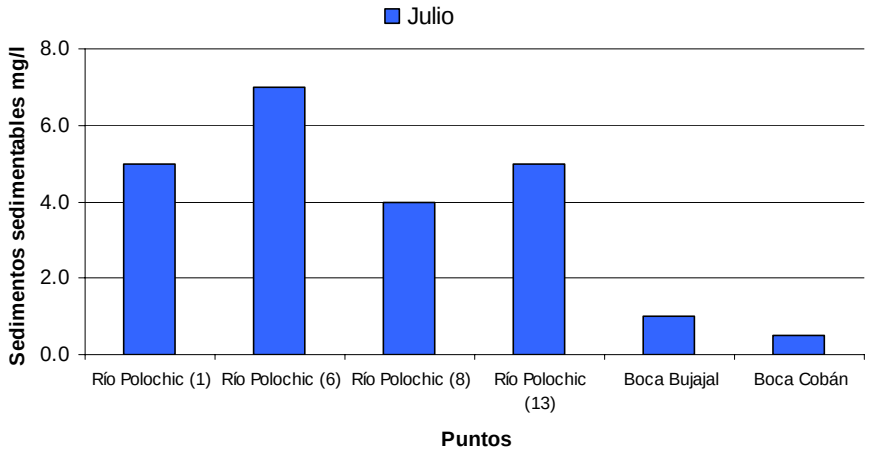
5.7 Coliformes totales

En el mes de julio se puede apreciar que en toda el área de estudio del lago hay presencia de Coliformes totales, aunque la mayor cantidad se observa en Boca Bujajal con un valor mayor a 100 colonias por 100 ml (Mapa 19). Durante el mes de marzo se realizo análisis de Coliformes totales, aunque fueron negativos excepto el punto 17 que presento 7 colonias, aunque debido a los resultados y tiempo de análisis es difícil confiar en estos datos, ya que en estudios anteriores se ha reportado presencia de Coniformes.

5.8 Sedimentos sedimentables

En la figura 7 se puede apreciar que el mayor valor de sedimentos se encuentra en el punto 6 (Telemán) y en las desembocaduras del Río Polochic se encuentran los valores más bajos.

Figura 7: Sólidos sedimentables (mg/l) en diferentes segmentos del Río Polochic, en el mes de julio del 2003.



En el mapa 20 se observa que durante el mes de julio la mayor carga de sedimentos sedimentables en la desembocadura de los ríos Polochic y Oscuro. Los puntos con menor carga de sedimentos son el centro del lago y el punto 11 (Exmibal)

6. Discusión de resultados

Al igual que lo reportado por Pacas (2003) al mayor ingreso de nutrientes al lago se da principalmente por el rió Polochic, ya que la mayor concentración se observa en esa área. Aunque durante la época lluviosa en el Río Oscuro se observo un gran aporte de fosfatos. Estos aumentos en este río así con en otros puntos dentro del lago pueden deberse al efecto de las lluvias o actividades antropogénicas esporádicas, aunque es de importancia poner atención en estos puntos, para determinar la razón del incremento de nutrientes en estas áreas.

En general se observa que los niveles de nutrientes, principalmente de fosfatos (PO_4) y nitratos (NO_3) son mayores en los ríos que en el lago, coincide con lo mencionado por Dix (1999) y Pacas (2003), sobre la importancia del humedal para absorber el impacto de las descargas de los ríos sobre el Lago de Izabal. Aunque esto también esta influenciado principalmente por la disolución de los nutrientes en el lago.

Los niveles de fosfatos encontrados durante este estudio son superiores a los reportados por Basterrechea (1993) y Pacas (2003), por lo que se puede apreciar un incremento de PO_4 en la cuenca del Lago de Izabal, presentando valores similares a los reportados por Dix (1999), los cuales estuvieron influenciados por la tormenta tropical Mitch, Esto indica el aumento de fosfatos en la cuenca, que puede estar relacionado directamente con las actividades antropogénicas, realizadas durante estos meses.

El comportamiento del Fósforo en el Río Polochic es variable, su aumento está relacionado con los poblados y la incorporación de los tributarios a su cauce, principalmente el aumento del agua de escorrentía en la época lluviosa, ya que en julio se encontró la mayor cantidad de este nutriente.

Al igual que lo reportado por Dix (1999) y Pacas (2003), los ríos Zarco, Tinajas y durante éste estudio el Río Pueblo Viejo presentaron concentraciones altas de fosfatos en marzo, como mencionó Pacas (2003) este aumento debe estar relacionado con la disminución de los caudales,

ya que las descargas de los poblados siguen siendo las mismas. Aunque será necesario investigar sobre el uso de la tierra en esa área, ya que podría estar mas relacionado con la fertilización de cultivos. Las concentraciones más altas se observaron en la época lluviosa, principalmente durante el mes de septiembre. Lo cual es provocado por el aumento de los caudales de los ríos, así como el agua de escorrentía lo que arrastra más nutrientes a los cuerpos de agua, esto mismo se observa con el amoniaco (NH_3).

Se observó una disminución de los promedios de nitratos en relación al estudio de Pacas (1999), aunque estos se mantienen más altos que los reportados por Basterrechea (1993) y Dix (1999). Esta disminución durante este estudio puede deberse a que los picos mas altos durante el estudio de Pacas se reportaron en los meses de mayo y octubre, que coinciden con la época de fertilización de los cultivos, principalmente del maíz, la cual se realiza con urea.

Coincidiendo con lo mencionado en el estudio de Pacas (2003) el ecosistema presenta condiciones aeróbicas lo que permite que se desarrolle mejor los procesos de nitrificación en los cuerpos de agua convirtiendo el NH_4 en NO_3, por lo cual se observan esas concentraciones en los mismos, aunque cabe mencionar que los procesos de desnitrificación se dan simultáneamente. El proceso de desnitrificación se observa con mayor facilidad en las áreas de pantanos o en condiciones anaeróbicas, de aquí la importancia del Humedal Bocas del Polochic para el ecosistema, ya que devuelve Nitrógeno gaseoso al aire, cerrando el ciclo y ayuda disminuyendo la cantidad de Nitrógeno incorporado al ecosistema

Similar a los estudios anteriores los valores de conductividad son más altos en los ríos que en el lago, siendo los ríos Cahabón y Boca Nueva, los que aportan mayor cantidad de iones a la cuenca del Polochic. Asimismo se observó mayor conductividad en la época seca, esto se debe a la disminución de los caudales, por lo que hay una mayor concentración de los iones en el agua.

No fue posible obtener los datos de Oxígeno Disuelto en todos los puntos, aunque los pocos que se pudieron muestrear mantuvieron altos, siendo estos datos similares a estudios anteriores. Esto demuestra la capacidad del sistema para sostener poblaciones de peces, invertebrados, algas y

microorganismos. Estos niveles altos de Oxígeno permite trabajar a las bacterias de una forma aeróbica, lo que promueve una mejor autodepuración del sistema.

Al igual que en el estudio de Dix (1999) y Pacas(2003) en el Río Polochic en Panzós se observa la concentración más baja de Oxígeno, esto puede estar relacionado a que el río en esa parte se extiende mucho bajando su velocidad, lo que no permite una buena oxigenación del agua y aumenta la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). También se pudo observar que en esa parte del río extraen arena, lo cual remueve los fondos, sustituyendo el sustrato arenoso por uno arcilloso y limosos. Este tipo de sustrato propicia el aumento de la comunidad bacteriana, provocando mayor DBO en esa área.

De igual forma que los estudios anteriores, el Río Oscuro presenta concentraciones bajas de Oxígeno durante el mes de julio meses de la época lluviosa, esto se debe a que este río contiene gran cantidad de materia orgánica, lo que provoca un aumento en la DBO. Aunado a que durante la época lluviosa aumenta el nivel del lago, lo que forma una contracorriente en el cauce del Río Oscuro, lo que provoca un estancamiento del agua en esa área, permitiendo la descomposición de la materia orgánica, provocando una mayor demanda de Oxígeno.

El pH varió entre 7.3 y 8.8, siendo estos datos similares a los presentados por Pacas (2003). Los datos de pH más bajos se observaron en los puntos en los cuales se observo los niveles más bajos de Oxígeno, esto disminución esta relacionada con la descomposición de la materia orgánica debido a la actividad bacteriana.

De similar forma a lo observado por Dix (1999) y Pacas (2003), el humedal Bocas del Polochic muestra la efectividad para reducir el impacto sobre el lago de los sedimentos, ya que los niveles de turbidez disminuyen en relación a lo encontrado en los ríos.

La transparencia durante el estudio fue similar a la de Dix (1999) y Pacas (2003), con 1.3 m, siendo esta menor a la reportada por Basterrechea (1993) de 2,6 m, la cual está directamente relacionado con el incremento de la densidad del fitoplancton como reporta Pacas, así como al

incremento de los sólidos en suspensión y disueltos, provenientes del Río Polochic y sus tributarios.

Basándose en los índices de Vollenweider (1968) presentados por Roldan (1992), en el cual observando los niveles de fosfatos del estudio se considera el Lago de Izabal como un lago eutrófico, por los niveles de nitratos y amoniaco se considera como mesotrófico. Basándose en las características de la caracterización trófica de lagos y embalses de Vollenweider (1983), se puede caracterizar como un lago eutrófico. En base a los índices de (USEPA) Environmental Protection Agency, en Toman y Mueller (1987), en Ramírez (1998) el lago está en un estado Eutrófico. En base a la definición de Machorro (1996) de un lago eutrófico.

En relación a los criterios de calidad del agua de SEMARNAP, donde presentan los niveles máximos de nutrientes en mg/l, ninguno de los datos promedio durante el estudio excede estos niveles. Hace mención que los niveles de fosfatos totales no deberán exceder de 0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada. Los niveles encontrados durante el estudio son superiores a los recomendados por SEMARNAP (1989), para evitar la eutrofización acelerada.

Según las normas internacionales para la calidad del agua de bebida, CEPIS-OPS-OMS (2003), el agua de la cuenca basándose en los parámetros químicos y físicos, se encuentra dentro de los limites permisibles para el consumo hunazo, aunque basándonos en los parámetros microbiológicos se observa que la mayoría de los cuerpos de agua presentan Coliformes fecales, asiendo de esta agua no apta para el consumo humano.

Coincidiendo con lo mencionado por Pacas (2003) la zona occidental del Lago de Izabal, presenta características de un lago en estado de eutrofización, aunque presenta características que ayudan a su mantenimiento, como lo son el tiempo de reciclaje del agua (Flushing) que es de 1,4 años (Machorro, 1996), que permite que el agua del lago no permanezca tanto tiempo estancada. Otra es las concentraciones de Oxígeno, lo cual permite que las bacterias trabajen de una forma aeróbica, lo cual permite una mejor autodepuración del sistema y un mantenimiento de todas las

poblaciones. Y por último la presencia de humedal Bocas del Polochic que disminuye el impacto de los nutrientes y sedimentos, hacia el lago.

7. Conclusiones

- La zona occidental del Lago de Izabal se encuentra en un estado eutrofización, debido a los niveles de nutrientes encontrados durante el estudio.

- El agua de la cuenca del Polochic y de la Zona de estudio no es apta para el consumo humano debido a los niveles de Coliformes totales encontrados durante el estudio

- El humedal de Bocas del Polochic funcionando como un filtro biológico para el mantenimiento del Lago de Izabal, ya que lo protege de las descargas de nutrientes y sedimentos provenientes de la Cuenca del Polochic.

- Las descargas de nutrientes que impactan el lago, provienen principalmente de los poblados cercanos a la parte baja de la cuenca del Río Polochic (Telemán, Panzós y La Tinta) y los que se encuentran alrededor del lago, así como los fertilizantes utilizados en los cultivos, principalmente del maíz en estas áreas.

- La calidad del agua del Río Polochic está influenciada por el Río Cahabón, ya que los parámetros de temperatura, conductividad y nutrientes cambian notoriamente en el punto 15 (Río Polochic), relacionados directamente con las descargas de éste río.

8. Recomendaciones

- Continuar con los monitoreos de calidad del agua en el Lago de Izabal y sus afluentes, para evaluar el comportamiento del sistema en el tiempo y poder detectar cambios que podrían afectar el equilibrio del ecosistema.

- Es necesario contar con plantas de tratamiento de agua potable y de aguas residuales para disminuir el impacto de las aguas negras sobre la calidad del agua y la salud un el área.

- Realizar estudios en los cuales se determine el uso de la tierra en la cuenca del Polochic y orillas del Lago de Izabal, con el fin de determinar el impacto de las actividades humanas en el ecosistema.

- Hacer mediciones de caudales en los diferentes ríos, ya que con esto se contribuirá con la generación y análisis de información sobre la cuenca.

- Realizar compañas de educación y concientización sobre el uso e importancia del recurso hídrico, así como la cloración del agua y la importancia que esto tiene en la salud de la población.

9. Bibliografía

Bailey, C; Barrios, A; Cardona, J. 1998. Plan preliminar de ordenamiento de la parte sur de la cuenca del Río Polochic. Guatemala. 48 p.

Basterrechea, M. 1991. Evaluación del impacto ambiental de la exploración sísmica en la cuenca del Lago de Izabal. Shell. Guatemala. 89 p.

_____. et. al. 1993. Calidad del agua del Lago de Izabal y principales tributarios, Informe Técnico. Convenio DGEN-SEBV. Guatemala. 60 p.

Bauer, L. 1997. Análisis y comparación de algunos factores físicos, químicos y del fitoplancton de los lagos Amatitlán e Izabal (Guatemala). Universidad del Valle de Guatemala. 21 p.

Brison, M. 1976. Organic matter losses from four watersheds in humud tropics. Limnology and Oceanography 21 (4): 572-582 pp.

Castañeda, C. 1995. Sistemas lacustres de Guatemala, recursos que mueren. Editorial Universitaria. Guatemala. 196 p.

CEPIS (El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS. 63 p.

_____. 2003. Normas internacionales para la calidad del agua de bebida. (en linea). Consultado 10 ene. 2003. Disponible en http://www.cepis.ops-oms.org/

Cortes, R. 1998. Las mareas rojas. A.G.T. editor, S.A. México. 161 p.

Dix, M. 1999. El impacto de la cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal. Guatemala. 140 p.

Fundación Defensores de la Naturaleza. 1997. I Plan maestro del Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic. Guatemala. 70 p.

Herrera, K. 1999. Indicadores biológicos de la calidad de agua del Río Polochic y de la integridad biológica del Lago de Izabal. Tesis de Maestría en Estudios Ambientales. Universidad del Valle de Guatemala. 95 p.

Machorro, R. 1996. Water quality at Lago de Izabal, Guatemala: Geochemical Characterizacion and Assessment of Trophic Status. Tesis de Doctorado, University of Texas, El Paso. 240 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT) 2,001. Base de datos de Guatemala 1:1250000, para Sistema de Información Geográfica (SIG). Guatemala. 1 disco compacto, 700 MB.

Owent, T. 1979. Handbook of common methods in Limnology. The C.V. Mosby Company. United Status of America. 199p.

Pacas, L. 2003. Situación Estudio limnológico de la zona occidental del Lago de Izabal, Río Polochic y sus afluentes, durante el 2002. Tesis de Licenciatura en acuicultura. Universidad de San Carlos de Guatemala. 70p.

Pérez, F. 1999. Situación actual de la contaminación del Río Polochic y su impacto en el Lago de Izabal. Tesis de Maestría en Estudios Ambientales. Universidad del Valle de Guatemala. 75p.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Br. 2001. Projeto Águas de Minas (en linea). Brasil. Consultado 10 ene. 2003. Disponible en http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/aguas_minas.htm

Roldan, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia. Ed. Universidad de Antioquia. 529 p.

SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) 2003. Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. (en linea). Consultado 10 ene. 2003. Disponible en http://www.semarnat.gob.mx/estadisticas_ambientales/compendio/02medio_ambiente/agua.shtml

Villar Anleu, L 1992. Estudio técnico del área de protección especial "Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic". Guatemala: FUNDARY. 53 p.