



Mejor Tesis: Escuela de Química
Mejor Tesis: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia,
Período 2003-2004.

DOI: <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v17i1.220>
Licencia: CC-BY 4.0

“DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS Y NUTRIENTES EN EL AGUA DEL BIOTOPO CHOCÓN MACHACAS Y PARQUE NACIONAL RÍO DULCE”

Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and nutrients in the water of the chocon machacas

biotope and Rio Dulce National Park

¹Torres, R.J., ²Pérez, J.F.

RESUMEN

Se determinaron en muestras de agua los niveles actuales de nutrientes, hidrocarburos aromáticos policíclicos y características fisicoquímicas, que poseen las reservas Parque Nacional Río Dulce y orillas del Biotopo Chocón Machacas.

Los nutrientes analizados presentaron los niveles promedio más altos durante el mes de marzo (época seca), mientras que los niveles promedio más bajos se registraron durante el mes de septiembre (época lluviosa). A diferencia del nitrógeno, el fósforo sí se encontró por encima de los valores límite establecidos para lagos tropicales y aguas naturales templadas, propuestos por diversos autores y organizaciones (Roldán, Wetzel, OMS).

No se detectaron hidrocarburos aromáticos policíclicos, sin embargo fueron determinados otros tipos de hidrocarburos de forma cualitativa, siendo algunos de ellos: ciclotetradecano, ciclohexadecano, pentadecano, heptadecano, octadecano, nonadecano e indeno, entre otros.

Dentro de las características fisicoquímicas determinadas, lo que respecta a sólidos totales y conductimetría, ambos presentaron los valores promedio altos durante el mes de septiembre (época lluviosa) y los valores promedio más bajos durante el mes de marzo (época seca), ambos parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos propuestos por Platero para aguas naturales limpias y de mineralización media. Con respecto al pH, el valor promedio se encuentra dentro de los límites permitidos para aguas naturales templadas. Lo referente a salinidad su valor estuvo por debajo del límite de operación del aparato el cual es de 0.1mg/l.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental y específicamente la contaminación del agua, constituye en la actualidad un problema que afecta en general tanto a países desarrollados como a los que se encuentran en vías de desarrollo, por lo que es indispensable poseer políticas y leyes que regulen y controlen las distintas fuentes de contaminación. Siendo el agua un recurso de activación y enlace de los distintos ecosistemas, resulta de suma importancia elaborar un estudio sobre su calidad, máxime si ésta forma parte de una reserva natural, pues de ella depende una gran biodiversidad de especies y dentro de estas el ser humano. Es por ello que se pensó en efectuar una investigación sobre la calidad fisicoquímica del agua en el Biotopo Chocón Machacas-Parque Nacional Río Dulce, del departamento de Izabal, Guatemala, con el fin de proporcionar información referente a la contaminación proveniente de hidrocarburos, fosfatos y nitratos, entre otros. La presencia y cantidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos proporciona una estimación sobre la posible liberación de combustibles en la región especialmente los de combustión incompleta, provenientes de lanchas u otro tipo de vehículo que utilice combustible para navegar por

los ríos, lagunas y el lago de Izabal, así como también posibles fugas que hallan podido ocurrir en el oleoducto que atraviesa por debajo del río. Las gasolineras que se encuentran sobre el agua y en una de las orillas del mismo son otro factor a considerar. También debe tomarse en cuenta que uno de los tributarios del Río Dulce es el río Chino Creek el cual posee cerca de su cauce un depósito de combustible. Todos estos factores deben de considerarse importantes en cuanto a niveles de riesgo ya que una fuga o derrame de los mismos podría representar una catástrofe para la vida en las reservas. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos poseen niveles de toxicidad bastante altos y ubicuidades de lo más variadas, por lo que se encuentran prácticamente en todos los medios de la biosfera.

Por otro lado, la importancia de estudiar los niveles presentes de especies químicas nitrogenadas y fosfatadas radica en que ambas brindan un indicio sobre la posible eutrofización de algunas zonas del río o bien de algunas lagunas de la reserva del biotopo. Las principales causas que pueden producir este tipo de contaminantes, son las provenientes de actividades humanas, entre las que destacan: lavado de ropa, aseo personal, desembocadura de ríos que se utilicen para vertimiento de aguas residuales y que se encuentren altamente cargados con detergentes, material vegetal en abundante cantidad y lavado de suelos que contienen fertilizantes, entre otros.

Para efectuar el estudio se realizaron muestreos en distintos meses del año en diez estaciones o puntos geográficos dentro de las reservas. Para el análisis de nitrógeno, se montó el método de reducción con cadmio, mientras que el análisis de fósforo se efectuó por medio de un método colorimétrico recomendado por la Asociación Americana de Salud Pública (cuyas siglas en inglés son APHA) conocido como vanadato-molibdato. Se midieron las siguientes propiedades físicas: conductividad, salinidad, sólidos totales y potencial de hidrógeno (pH).

Este informe permite conocer entonces, la calidad fisicoquímica y la concentración de los nutrientes, que posee el agua del biotopo Chocón Machacas y el Parque Nacional Río Dulce, con el fin de informar el nivel en que se encuentran los parámetros anteriormente listados y los peligros que pueden representar las variaciones sistemáticas o repentinas en sus concentraciones, las cuales puedan dañar el equilibrio natural que mantienen estas importantes reservas guatemaltecas.

2. ANTECEDENTES

Para saber en qué condiciones se encuentra un río, lago o laguna, es necesario analizar una serie de parámetros de tipo físico, químico, biológico y microbiológico, para luego comparar estos datos con parámetros y criterios establecidos internacionalmente, con base a éstos podrá clasificarse la calidad que posee determinado cuerpo de agua así como su capacidad de amortiguamiento o autodepuración (efectuando monitoreos constantes), podrán también establecerse los distintos usos que podría asignársele tales como: consumo humano y animal, actividades recreativas, riego, para la vida de los peces, etc.

1. Químico, autor.
2. M.Sc., Químico, asesor.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se suelen muestrear mensualmente, mientras que el estudio biológico de las riberas y el lecho del río se suele hacer esporádicamente, generalmente dos veces al año, una en época lluviosa y otra en época seca.

2.1 Contaminación del agua por las siguientes especies:

2.1.1 Hidrocarburos:

La contaminación que puede darse por hidrocarburos a las distintas fuentes de agua ya sea superficial (ríos, lagos, lagunas, mares), subterránea (acuíferos, corrientes internas) o almacenada (que puede ser superficial o subterránea y que sirve para consumo humano o animal, así como también para regadíos u otro uso), constituye una situación que ocurre con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación produce un cambio en las características organolépticas del agua, las cuales inducen al rechazo por los consumidores. Para los humanos y animales que la ingieren representa un riesgo para la salud; así como también para el ecosistema, el cual puede ser afectado debido al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes (Valdés, 1998).

La contaminación por hidrocarburos puede presentarse en dos formas generales: puntual y sistemática. La puntual ocurre de forma fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. La sistemática es habitual y caracteriza a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo (Valdés, 1998).

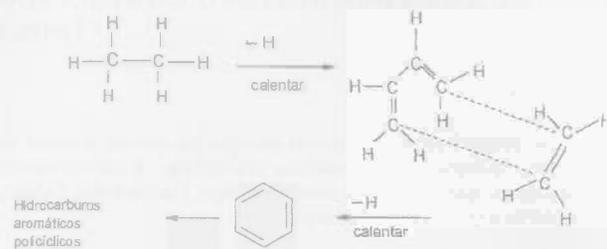
Los efectos de la contaminación por petróleo dependen de varios factores, entre los que se encuentran; tipos de petróleo (crudo o refinado), cantidad liberada, distancia del sitio de liberación, época del año, temperatura del agua, clima y corrientes oceánicas. El petróleo que llega al mar se evapora o es degradado lentamente por bacterias. Los hidrocarburos orgánicos volátiles del petróleo matan inmediatamente a varios animales, especialmente en sus formas larvales (Valdés, 1998).

Otras sustancias químicas permanecen en la superficie y forman burbujas flotantes que cubren las plumas de las aves que se zambullen, lo cual destruye el aislamiento térmico natural y hace que se hundan y mueran. Los componentes pesados del petróleo que se depositan al fondo del mar pueden matar a los animales que habitan en las profundidades como cangrejos, ostras, etc., o los hacen inadecuados para el consumo humano (Valdés, 1998).

2.1.2 Hidrocarburos aromáticos policíclicos:

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos químicos formados por dos o más anillos benzenicos condensados, que a su vez pueden tener distintos sustituyentes. Desde los trabajos de Percival Pott en 1775, quien describió el desarrollo de cáncer de escroto por acumulación de hollín en esta región del cuerpo, se ha conocido su acción cancerígena. En estos compuestos destacan aquellos conformados por 4 ó 6 anillos benzenicos. Estos tienen elevados pesos moleculares, por lo que en condiciones normales de temperatura y presión son sólidos. Son prácticamente insolubles en agua, pero muy solubles en los disolventes apolares y grasas. Hidrocarburos con muy bajas masas moleculares, incluso metano, pueden ser precursoras de HAP's, por medio de un proceso llamado *pirosíntesis*. Esto ocurre a temperaturas que exceden los 500°C, a las cuales los enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno se rompen para

formar radicales libres. Estos radicales sufren deshidrogenación y se combinan químicamente para formar estructuras anulares aromáticas, las cuales son resistentes a la degradación térmica. El proceso básico para la formación de dichos anillos desde la *pirosíntesis*, empezando con etano es:



lo cual resulta en la formación de estructuras de HAP's estables. La tendencia de los hidrocarburos a formar HAP's por *pirosíntesis* varía según el siguiente orden: aromáticos > cicloalquenos > alquenos > parafinas. La estructura anular existente en compuestos cíclicos conduce la formación de HAP's. Los compuestos insaturados son especialmente susceptibles a las reacciones de adición que involucran la formación de HAP's (Ladron, 1995), (Bjørseth, 1983).

Alternativamente, los compuestos aromáticos policíclicos pueden formarse a partir de alcanos mayores presentes en combustibles y materiales vegetales por el proceso llamado *pirólisis*, el "cracking" de los compuestos orgánicos para formar moléculas y radicales más estables y pequeños (Bjørseth, 1983).

2.1.3 Fuentes de contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos:

Los hidrocarburos policíclicos son muy ubicuos¹ y se encuentran en prácticamente todos los medios de la biosfera. Son componentes de los crudos, alquitranes de hulla, hollín, tierras bituminosas, etc. Además se forman en cantidades apreciables por procesos de pirólisis en las combustiones incompletas de hidrocarburos y materia orgánica, en un proceso que consume hidrógeno preferencialmente del carbono, en condiciones oxígeno-deficientes. El residuo carbonado permanece en el sistema aromático condensado y es favorecido termodinámicamente para la formación de HAP's. Se alcanzan concentraciones apreciables de HAP's en: humo del tabaco, escape de motores de explosión, humo de hornos de madera, residuos de hulla, alquitrán, petróleo (tal como sucede con el asfalto para carreteras e impermeabilizantes), también en el calentamiento y preparación de alimentos tales como la comida asada, entre otros. El carácter sólido de estos compuestos, hace que se condensen en pequeñas partículas al entrar en contacto con el aire atmosférico que está a temperaturas medias (no más de 30-35°C). Estas partículas pueden ser transportadas por corrientes de aire a distancias considerables, las cuales favorecen su absorción respiratoria. Generalmente, la emisión de estos hidrocarburos se mide mediante la cuantificación de benzopireno, aunque este método resulta muy erróneo pues la proporción de benzopireno en relación a otros hidrocarburos policíclicos cancerígenos es muy variable, dependiendo de la fuente de emisión y las condiciones de la misma

1. Ubicuo: Qué está a un tiempo en todas partes.

(temperatura, proporción de O_2 , presión, reactivos intermediarios, etc.). Así, en el humo del tabaco, el benzopireno es responsable del 1% de su acción cancerígena, mientras que en los lodos de aguas residuales puede suponer hasta el 23% de esta acción (Ladron, 1995).

Prácticamente el 97% de la emisión de benzopireno se ha atribuido al empleo de combustibles fósiles. Una de las actividades más productoras de estos compuestos es el craqueo de petroleos o hulla para la manufactura de gas natural, actividad que desde su descubrimiento en el siglo XIX se ha venido haciendo con carácter masivo, si bien en los últimos tiempos ha decrecido gracias a la sustitución del gas propano por gas natural. Los residuos de esta destilación son una importante fuente de contaminación por estos hidrocarburos, y frecuentemente condiciona su paso a las aguas residuales o de acuíferos, a partir de donde se inicia su ciclo biológico. Su degradación es lenta y son contaminantes muy persistentes en la biosfera. El trabajo con los residuos provenientes del craqueo requiere medidas de control exhaustivas sobre los trabajadores, que impidan el contacto directo y la absorción de compuestos cancerígenos. El humo de la madera, carbón, etc., es también rico en hidrocarburos aromáticos policíclicos (Ladron, 1995).

En los alimentos estos hidrocarburos aparecen por muy distintas causas. En primer lugar, se debe considerar la absorción de hidrocarburos por las materias primas a lo largo de su ciclo biológico. En segundo lugar, se ha de considerar la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos que conllevan ciertas preparaciones de los alimentos, especialmente el ahumado y el especiado con sabores a humo. Por último, la propia acción de cocinado, en tanto que supone un determinado porcentaje de pirolización de la materia orgánica y especialmente cuando los alimentos, como ocurre con las carnes y pescados, se carbonizan superficialmente por calentamiento en placas al rojo o sobre la llama, enriqueciendo significativamente los alimentos con estas sustancias (Ladron, 1995).

2.1.4 Toxicidad de los hidrocarburos aromáticos policíclicos:

El efecto tóxico característico de estos compuestos es su acción carcinógena. Esta depende de su proceso biotransformativo, que al igual que el del benceno, consiste en una primera fase de hidroxilación aromática, que puede producirse en varios puntos de la molécula, seguida de una fase ulterior conjugativa, bien con ácido glucurónico, grupos sulfato, glicina o glutatión. Su mecanismo íntimo de acción, se basa en su acción genotóxica por la formación de epóxidos, que se desarrolla bajo la misma base que la del benceno (Ladron, 1995).

Estos compuestos son peligrosos desde el punto de vista de su toxicidad aguda. En general su toxicidad aguda aumenta con el peso molecular y con la adición de radicales alquilo a los núcleos aromáticos. Por el contrario, su acción carcinógena les convierte en compuestos extremadamente peligrosos en caso de exposición crónica. En ratones se ha podido desencadenar el inicio de tumores en menos de seis meses, mediante la administración de unos pocos micromoles de benzopireno. Numerosos estudios epidemiológicos han demostrado que en trabajadores expuestos a atmósferas contaminadas por el gas de hulla, emisiones de hornos de coque, hollín, humos de alquitrán, etc., aumenta significativamente la incidencia de cáncer de pulmón. En general, los tejidos con índices de replicación celular alto, como la médula ósea, epitelio intestinal, tejido linfóide, etc., son más sensibles a la acción carcinógena de los hidrocarburos aromáticos policíclicos. La exposición dérmica continuada da lugar al desarrollo de tumores localizados en los lugares de contacto (Ladron, 1995).

2.1.5 Concentraciones críticas y métodos analíticos para hidrocarburos aromáticos policíclicos:

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado como valores límite en el agua para benzopireno 7.5 ng/L, y 30ng/L para el total de hidrocarburos aromáticos policíclicos con acción carcinógena (Ladron, 1995).

El estudio de este tipo de contaminación puede alcanzar una gran complejidad, determinada ésta por la naturaleza de la contaminación, los métodos de análisis empleados y la manera en que se proceda en la ejecución del estudio. La integración de estos factores determina el alcance, la eficiencia en el uso de los recursos y la ejecución de una intervención adecuada (Bjørseth, 1983).

Existen diferentes métodos analíticos que permiten estudiar este tipo de contaminación, entre los que se encuentran la cromatografía gaseosa, métodos de partición gravimétrica y métodos espectroscópicos infrarrojo y ultravioleta. Cada uno de ellos tiene ventajas y limitantes, de las que se puede señalar para el caso de los métodos instrumentales que la mayor limitante es el elevado costo del equipamiento y la necesidad de patrones de alta pureza de los hidrocarburos presentes en las muestras (Bjørseth, 1983).

De los métodos señalados para análisis de hidrocarburos, la cromatografía gaseosa es la de mayor sensibilidad. Los métodos de partición gravimétrica y extracción presentan una baja sensibilidad (mayor que 10 mg/L). El método infrarrojo presenta valores de detección del orden de 0.2 mg/L, valor que es superior en concentración a lo requerido para el caso de las aguas de consumo (Valdés, 1998).

Para la medición de los hidrocarburos, se utilizará la cromatografía gas-líquido y se medirán los hidrocarburos aromáticos policíclicos siguientes: acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluorantreno, benzo(k)fluorantreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno (Supelco, 1998).

2.1.6 Análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos por cromatografía de gases (CG):

La fracción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), de muchas muestras medio ambientales es usualmente de una alta complejidad composicional; muchos cientos de compuestos diseminados sobre un amplio rango de concentración y volatilidad. En los últimos 40 años muchos métodos han sido desarrollados para el análisis de HAP's, ya sea por sus componentes aislados (típicamente benzo(a)pireno), como una selección de compuestos (por ejemplo, los 6 escogidos por la Organización Mundial de la Salud como estándares para el análisis de HAP's en agua potable o los 14 recomendados por la Agencia de Protección Medio Ambiental de EE.UU como los mayores componentes HAP's que deberían ser medidos para todas las instalaciones de procesamiento relacionadas con la energía), o como compuestos totales (por ejemplo, pruebas puntuales con muestras pantalla para la presencia de los mismos). A modo de caracterizar completamente todo el rango de HAP's y también para detectar los componentes minoritarios con efectos potencialmente adversos biológicamente, el método analítico debe poseer una alta eficiencia de separación y buena sensibilidad como se mencionó anteriormente. La cromatografía de gases es una técnica que tiene el potencial de cumplir estos requerimientos (Bjørseth, 1983).

La cromatografía de gases (CG) que utiliza *columnas capilares* posee ventajas con respecto a las que utilizan *columnas empacadas*, de tal manera que, cuando son considerados factores como: el tiempo de análisis, sensibilidad, y resolución, aplicados a mezclas complejas, saldrá favorecida la columna capilar (Bjørseth, 1983).

Una vez se ha escogido la CG capilar, es importante reconocer las limitaciones prácticas del método. Hay cuatro áreas importantes donde las columnas capilares tienen una utilidad particular:

- * Resolución de isómeros,
- * Análisis de mezclas complejas.
- * "Huellas digitales" cromatográficas.
- * Separaciones rápidas.

Todos estos usos han sido efectivos para los análisis de estos compuestos, en particular esto es cierto para los dos primeros mencionados debido a que de los muchos cientos de compuestos presentes en una fracción de HAP's, muchas son moléculas isoméricas. Giger y Schaffner sostienen que "si una caracterización extensiva de mezclas de estos compuestos se basa sobre el análisis de constituyentes individuales en vez de sobre muestras no resueltas, podemos mejorar nuestra habilidad para describir las fuentes y los destinos de estos químicos en el ambiente..." (Bjørseth, 1983).

La elección de la *fase estacionaria* para las columnas capilares resulta ser menos crítica que para las columnas empacadas, debido a que la eficiencia total de la columna es mucho mayor. Las columnas capilares de vidrio con fase de goma son superiores para los líquidos. Las ventajas son las siguientes:

- * La homogeneidad incrementada de la película conlleva ulteriormente a una mayor eficiencia en la separación.
- * El amplio rango de temperatura práctica.
- * El rango extendido de espesor de la película.

Si lo que se desea es separar todos los HAP's que sean posibles en una única corrida, la mejor elección es una fase de goma (Bjørseth, 1983).

La elección del *gas portador* debe efectuarse en función de ciertas propiedades y ventajas, para lo cual, se ha establecido que el hidrógeno es el gas portador ideal en CG. Sus ventajas sobre el nitrógeno son:

- * Mejora significativamente la resolución.
- * Menor tiempo de análisis.
- * Mejor sensibilidad.
- * Separación significativa de componentes sensibles.
- * Mayor vida útil de la columna.
- * Mejor eficiencia en la separación.
- * Menor temperatura de elución.
- * Más barato.

La única desventaja es su carácter explosivo. Se puede disminuir el riesgo al instalar detectores de fugas en el horno. Por otro lado, el gas helio es también preferible al nitrógeno (Bjørseth, 1983).

Los *detectores*: el detector más frecuentemente utilizado en el análisis de estos compuestos por CG es el detector de *ionización de flama* (FID). Su carácter versátil lo hace ideal para una gran variedad de compuestos, pero necesita un procedimiento de limpieza extensivo para eliminar los posibles compuestos interferentes. Sin embargo el FID tiene muchas ventajas: su amplio rango de linealidad lo hace ideal para el trabajo cuantitativo basado en estándares internos, en los cuales usualmente no necesita calibración, por ejemplo, de factores de respuesta, en análisis prácticos de rutina; y el detector es confiable y fácil de mantener. Los

factores de respuesta deben ser considerados para compuestos de alto punto de ebullición, para columnas pobremente desactivadas o cuando la edad de la columna parece influenciar su desempeño (Bjørseth, 1983).

La *Identificación de HAP's* individuales en CG dependerá de la complejidad de la muestra, la limpieza de la muestra, su separación y la sensibilidad del método de detección. En el análisis de rutina de estos compuestos provenientes de fuentes bien conocidas, la identificación se basa usualmente en el reconocimiento de un patrón típico. En la identificación utilizando parámetros de retención se utilizan también los llamados *índices de retención de Kovats los cuales* se utilizan frecuentemente para corridas isotermales y modificaciones para análisis de temperatura programada. Estos índices han sido calculados con referencia a estándares de n-alcenos. La influencia de varios parámetros en CG (largo de columna, espesor de la película, razón de flujo del gas portador, razón de cambio de temperatura programada y el sistema de inyección), disminuyen la reproducibilidad de los resultados y su uso práctico (Bjørseth, 1983).

Cuando se trabaja con la *CG cuantitativa*, existen ciertos aspectos a considerar, uno de ellos aplicado a columnas capilares es la **reproducibilidad** reducida la cual ha sido un punto de crítica para el trabajo cuantitativo en columnas capilares. Esta debilidad está principalmente relacionada con los métodos de inyección por partición e inyección por vaporización. La discriminación de los componentes de la muestra toma lugar en ambos casos en la aguja de la jeringa durante la inyección y en el inyector, es decir que la composición de la parte de la muestra que finalmente llega a la columna difiere de la muestra original. Se han efectuado diversas modificaciones en las metodologías de trabajo y en los artefactos en sí para superar esta deficiencia, entre ellas la inyección con "aguja caliente", en la cual la aguja permanece un tiempo prudencial en el inyector a modo de permitir la completa transferencia de la muestra a la columna (Bjørseth, 1983).

Las columnas en sí mismas pueden contribuir a las anomalías cuantitativas principalmente debido a la adsorción. Picos bien formados y alta eficiencia de separación son siempre los criterios prevaletentes para evaluar la calidad de la columna, pero no se provee información acerca de los solutos eluyendo desde la columna (Bjørseth, 1983).

Un método que debe ser tomado en consideración, es el **método de estándar interno**, el cual consiste en añadir un compuesto a la muestra ya sea como prueba o como limpiador. La importancia de usar estándares internos cuando se analizan HAP's debe apuntarse. Independientemente de la ventaja de poder medir directamente del área del pico del solvente al área del pico del estándar interno, se facilita la limpieza de la muestra; no hay necesidad de saber volúmenes de muestra o cantidades inyectadas; y lo que se pierde del componente de la muestra durante la limpieza también se pierde del estándar(es) interno(s) (Bjørseth, 1983).

Se han descrito las ventajas del uso de CG capilar, las cuales incluyen la resolución y sensibilidad. Sin embargo, según afirma Jennings: "ningún grado de sofisticación en el análisis final puede compensar o corregir los cambios composicionales causados por errores de muestreo...". Existen algunos procedimientos que deben considerarse cuidadosamente especialmente la limpieza, el muestreo, la purificación y preconcentración (evaporación del exceso de solvente, etc.), deben considerarse cuidadosamente. La adición de estándares internos corregirá las pérdidas durante la *limpieza*. La contaminación por solventes puede ser evitada con métodos de extracción alternativos tales como extracción con Soxhlet

y dióxido de carbono líquido. También se puede utilizar HPLC como un procedimiento de limpieza previo al análisis por CG (Björseth, 1983).

2.1.7 Nitratos, nitritos y fosfatos:

La contaminación del agua por fosfatos y nitratos, puede provenir por dos tipos diferentes de fuentes; puntuales y no puntuales. Las fuentes puntuales descargan los contaminantes en sitios específicos a través de tuberías y alcantarillas. Fuentes puntuales son: fábricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, minas, pozos petroleros, etc. (Martínez, 1999).

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa, ej: vertimiento de sustancias químicas, tierras de cultivo, lotes para pastar ganado, construcciones, tanques sépticos, entre otros (Martínez, 1999).

La contaminación orgánica, constituye con frecuencia el tipo de contaminación que sufren los lagos, lagunas, embalses, estuarios, mares y ríos de grueso volumen (pero de aguas relativamente tranquilas), los cuales conforman los grandes ecosistemas. Dicha contaminación vuelve a los lagos más vulnerables ya que desplaza el equilibrio aumentándolo con nutrientes tales como nitratos y fosfatos los cuales causan eutrofización. La contaminación por estas especies además de tener como fuente la materia de origen natural, también puede tener como origen una incorrecta manipulación humana, por ejemplo los desechos producidos por plantas industriales y de tratamiento. Así también los fosfatos provenientes de los detergentes que utilizan las personas para diversas actividades, entre las cuales se encuentra el lavado de ropa (Martínez, 1999).

Aunado a todo lo anterior, los excesos de maleza junto con los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, también contribuyen con este tipo de contaminación, los cuales al ser parte de un lavado pluvial en el suelo cultivado, contribuyen a los procesos de contaminación por estas especies (Martínez, 1999).

2.1.8 Importancia limnológica del nitrógeno:

Una utilización directa del amonio, nitrato o el nitrógeno atmosférico, por parte de los organismos autótrofos, conduce a la absorción biótica del nitrógeno, ya que en las condiciones normales de las aguas naturales, no existen procesos espontáneos de formación de compuestos orgánicos nitrogenados sin la intervención de organismos vivos. Su asimilación se inicia en el órgano o células receptoras con amidación u oxidación-reducción que conduce inicialmente a la formación de amidas o aminas endógenas que se procesan biológicamente para generar la asimetría biológica de los aminoácidos y posteriormente se transforman en proteínas, purinas o porfirinas siguiendo una amplia variedad de rutas bioquímicas, principalmente en microorganismos inferiores y especies vegetales. El eslabón siguiente de la cadena trófica asegura el suministro de nitrógeno a las especies animales, cuyas excretas por las heces (nitrógeno no asimilable), orina (ácido úrico, urea, ácido hipúrico y otros) y la putrefacción de sus cuerpos al morir (cadaverina, putrescina) entrega la carga nitrogenada al ambiente, la cual vuelve a mineralizarse nuevamente a las formas de amonio, nitrito y nitrato, cerrando parte del ciclo natural de este elemento (Basterrechea, 1992).

Cuando estos procesos se producen en los suelos, la contribución a la fertilidad de los mismos es altamente grande, si se deja por un lado el aspecto sanitario de la contribución microorgánica. Sin embargo las

escorrentías naturales que hacen trascender la ubicación de las descargas de nitrógeno de los suelos, permiten su aprovechamiento en una región tan reducida, que los cuerpos de agua reciben solamente aquellas cantidades de nitrógeno que están acostumbrados a amortiguar sin desplazar su equilibrio trófico (Basterrechea, 1992).

Cuando los procesos de transformación del nitrógeno y sus residuos son descargados en los cuerpos de agua a través de sus tributarios, se originan los fenómenos de eutrofización, que provienen del ciclo natural de la transformación de la excretas y los elementos de la putrefacción. De igual manera sucede en los lagos eutróficos y pseudopantanzados, en los que la muerte de especies superiores se produce por ausencia de oxígeno disuelto y altas concentraciones de amonio, que significan una descarga más endógena, que solamente acelera los procesos de sucesión biológica y la formación de pantanos (Basterrechea, 1992).

La intervención humana en las descargas abundantes de nitrógeno se asocia en primer lugar, con el hecho de que el aumento de la carga nitrogenada de un tributario o cuerpo de agua está directamente relacionada con la densidad de las poblaciones humanas asentadas en sus riberas, en regiones carentes de tratamiento de excretas, pues este tipo de descargas no naturales y concentradas constituyen el elemento de tensión, que por el principio de Le Chatelier incorporan entonces al cuerpo de agua al sistema generador de la tensión. Por otro lado, la descomposición de la materia orgánica vegetal se hace sumamente lenta, debido a que, a diferencia de los tejidos animales con membrana celular de fosfolipoproteínas, los vegetales poseen paredes celulares de celulosa, un polisacárido carbonado, que debe ser metabolizado inicialmente por los microorganismos celulolíticos para proceder al metabolismo de los compuestos nitrogenados. Es necesario añadir que los vegetales no poseen internamente microbiotas normales significativas al interior de sus cuerpos, lo que hace de los tejidos animales un sustrato que sufre descomposición rápidamente (Basterrechea, 1992).

De esta manera la mayor parte de la materia vegetal en descomposición y cualquier otra proveniente endógenamente del cuerpo de agua, cuya rapidez de degradación no permita su incorporación al agua, se fija a la superficie del sedimento en donde los particulados sedimentarios ofrecen un área específica muy grande para adsorberla y metabolizarla (Basterrechea, 1992).

Por otro lado, cabe mencionar que el nitrato, al igual que el nitrito, puede afectar a la población lactante en mucho mayor grado, tomándose también en cuenta que su presencia en forma natural refiere una mayor abundancia que el nitrito. El nitrato ingerido se transforma en nitrito en la cavidad oral a través de las levaduras de la microbiota normal, y en el tracto digestivo, principalmente por *Cándida sp* en los lactantes y *Escherichia coli* en los adultos, con las mismas consideraciones que el nitrito en referencia a la Methamoglobinemia y la formación de las carcinógenas N-Nitrosaminas. El riesgo con el ión nitrato es en este caso mucho más alto que con el nitrito debido a que naturalmente se supera en un factor de casi 1000 las concentraciones de nitrato encontrado en aguas superficiales, que las concentraciones de nitrito que se puedan encontrar. Debe recordarse que el ión nitrato es uno de los aniones más ampliamente distribuidos en la corteza terrestre, debido a que de las sales que puede formar, el 99% son solubles en agua. Además, por corresponder al máximo estado de oxidación del nitrógeno, su estabilidad en ausencia de biodegradación es exageradamente alta (Basterrechea, 1992).

2.1.9 Importancia limnológica del fósforo:

De no ser por acumulaciones minerales de fósforo, como la apatita y las fosforitas, o las grandes cantidades de excretas que forman el guano en regiones geográficas específicas, la aportación natural de fosfato a los cuerpos de agua es relativamente baja, y debida a los ciclos tróficos y biológicos de los seres vivos, especialmente moluscos y peces que actúan como concentradores. Cada ecosistema ha establecido, por propia evolución, sus condiciones de amortiguamiento, ayudándose de iones metálicos como el hierro III que forma fosfatos insolubles, los cuales son retirados del ciclo, precipitándose hacia los sedimentos (Basterrechea, 1992).

Cuando se producen descargas de fósforo que superan la capacidad amortiguadora, la cantidad de fosfato disuelto disponible, constituye el nutriente energético (pues el nitrógeno y el carbono constituyen los nutrientes estructurales y biosintéticos) que enciende la maquinaria de la eutrofización. Con cantidades mínimas de nitrógeno disuelto en el agua y la ayuda de la fijación atmosférica, las especies vegetales y el fitoplancton perciben la fertilidad del agua y empiezan a multiplicarse en función de la cantidad de fosfato, que no es aprovechable por las especies animales heterótrofas (Basterrechea, 1992).

Si la descarga cesa, el sistema actúa para compensar la tensión ejercida (por el principio de Le Chatelier) y como consecuencia del agotamiento de nutrientes, las algas mueren y sus restos se depositan en el fondo del cuerpo de agua para dar lugar a la putrefacción que consume oxígeno y libera fósforo metabolizado, una parte hacia el agua y otra hacia el sedimento. La parte liberada al agua puede contribuir nuevamente a la fertilización de las regiones superficiales y conducir a la repetición del fenómeno pero en menor intensidad (debido a que parte del fósforo ha sido secuestrado del ciclo y almacenado insolublemente en el sedimento) hasta que el aporte desde el sedimento se aproxima a cero, y el cuerpo de agua se ha recuperado de la tensión ejercida sobre él (Basterrechea, 1992).

Sin embargo, cuando las descargas son continuas o de corta periodicidad, el ecosistema no llega a amortiguar la tensión ejercida, ya que los aportes de fósforo de la descarga, se suman a los que provienen del sedimento por las primeras poblaciones de algas muertas, incrementándose en función del tiempo la disponibilidad de este nutriente energético. En este momento se inicia la eutrofización que mantiene una constante colonización fitoplanctónica de la superficie, privando a las especies vegetales superiores sumergidas, de la luz y fotosíntesis necesaria para su supervivencia conduciendo a su explotación y muerte que origina más aportes de fósforo (carbono y nitrógeno) desde los sedimentos. Llega el momento en que se distingue una zona fótica muy superficial con, inclusive, saturación de oxígeno debida a la propia producción de fitoplancton. Mientras tanto, el fondo acumula gran cantidad de carbono y nitrógeno orgánicos, que demandan oxígeno para su descomposición aeróbica. El proceso continuo agota la disponibilidad de oxígeno haciendo del fondo una región anaeróbica o microaerofílica y reductora que se extiende muy cerca de la zona fótica. Las condiciones reductoras en los sedimentos provocan la reducción del fosfato de hierro III insoluble a fosfato de hierro II soluble, aumentando con ello el aporte de fósforo al agua, con el proveniente de la acumulación sedimentaria almacenada por mucho tiempo (Basterrechea, 1992).

De la producción de anhídrido carbónico y nitrato en el fondo se pasa a la producción de amoníaco y metano, siendo el primero sumamente tóxico para los peces. Con ello, las especies animales privadas de oxígeno

e intoxicadas con amoníaco buscan las zonas más superficiales (haciendo más fácil su pesca), o mueren, aumentando la explotación del fósforo biológico por parte del fitoplancton. Solamente los procesos mécticos permiten romper la estratificación establecida y tanto su periodicidad como la profundidad misma del cuerpo de agua, son los factores que determinan la rapidez de su eutrofización y el tiempo de su recuperación (Basterrechea, 1992).

Las causas más frecuentes de introducción intervenida de fósforo lo constituyen las descargas fecales (hasta 2g/habitante por día), los detergentes con aditivos fosfatados (20-50% en peso de $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) y los fertilizantes agrícolas (mínimo por escorrentía 10% en peso). En los últimos años, en regiones agrícolas o ciudades grandes, el fósforo de los detergentes y de los residuos de la agricultura pudo superar considerablemente la aparición de fósforo en aguas que lo esperado por contaminación fecal, considerando estos factores como única explicación a los avanzados estados de eutrofización de los cuerpos de agua de los países templados y tropicales (Basterrechea, 1992).

2.1.10 Conductimetría, pH y salinidad:

La **conductividad** constituye un parámetro que sirve para medir de forma indirecta los sólidos disueltos en determinada cantidad agua, aunque en realidad es una expresión numérica que indica la capacidad de esta cantidad de agua para transportar una corriente eléctrica (Platero, 1999).

Los valores de conductividad del agua van a depender del tipo de especies químicas presentes, así como de su concentración, por lo tanto van a variar mucho de unas a otras. De tal manera que, mientras un agua natural limpia de mineralización media puede presentar valores entre 0.5 y 2 mS/cm (500-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), las aguas residuales pueden llegar a valores en torno a los 3-5 mS/cm (3000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) o incluso valores superiores (Platero, 1999).

Un aumento excesivo del contenido en sales como consecuencia de un aporte contaminante en un sistema receptor trae consecuencias nefastas sobre todo para los seres vivos de pequeño tamaño que precisan mantenerse dentro de unos rangos de salinidad determinados para mantener el equilibrio de nutrientes y presión a través de sus membranas (Platero, 1999).

Los **pH** habituales en los causes naturales pueden ser muy variables, pero suelen estar comprendidos entre 6 y 8.5 o incluso hasta 9 en algunos casos, dependiendo de las características de dureza y alcalinidad de las aguas naturales. En cualquier caso, un pH por debajo de 5.5 o por encima de 9.5 pueden dañar seriamente las masas de agua (Platero, 1999).

En los ecosistemas acuáticos, existe para cada uno de ellos, una franja específica de intervalo de pH dentro de la cual la vida se desarrolla con normalidad. Cuando uno de estos cauces recibe el aporte de un vertido de pH extremo, muchos organismos no tienen capacidad para soportar esta variación, desapareciendo del medio, lo que provoca un desajuste en el equilibrio existente entre especies vivas en los ecosistemas (Platero, 1999).

Las comparaciones de este parámetro en distintos tramos de los causes afectados revela información acerca de si se ha producido o no la descarga de un vertido contaminante de pH extremo o si están dándose procesos que conlleven cambios en el pH natural del medio (Platero, 1999).

Salinidad: Cuando en el agua el constituyente principal es cloruro de sodio y la concentración es mayor de lo usual, se dice que el agua es salina. La salinidad es el número de gramos de sal por kilogramos de muestra; por ello se expresa en partes por mil. La medida de la salinidad supone que la muestra contiene una mezcla estándar de sal y de agua de mar. Los métodos estándar la definen como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada. Numéricamente es menor que los sólidos disueltos, o residuo filtrable, y es un valor importante en aguas de mar y ciertos residuos industriales (Romero, 1996).

2.2 Biodiversidad y la importancia de su conservación:

La Biodiversidad es la variedad de ecosistemas, especies y genes que hay sobre la tierra, resultado de un proceso evolutivo de cuatro mil quinientos millones de años. Es de extrema importancia debido a que (INCAE, 1998; CONAMA, GEF-PNUD, 1,999):

- * Es la vida misma sobre la Tierra.
- * Es el sustento de los procesos vitales de los cuales depende toda forma de vida, tales como ciclos hidrológicos, formación de suelos, producción de oxígeno y fijación de carbono, flujos de energía y la evolución misma.
- * Es fuente de valiosos recursos que la humanidad usa para su alimentación, vestuario, medicina, construcción, industria y actividades culturales y espirituales.
- * La biodiversidad de Guatemala constituye la mejor opción que se tiene para basar el desarrollo y mejorar el nivel de vida de la población. Es la base de dos ventajas comparativas que el país tiene a nivel mundial: Ecoturismo y Desarrollo Forestal.

La diversidad biológica constituye además una fuente generadora de beneficios de diversa índole, indispensable para el desarrollo y supervivencia de la humanidad. Por ejemplo los recursos biológicos representan al menos el 40% de la economía mundial y el 80% de las necesidades de los más desposeídos. Además, cuando mayor es la diversidad biológica, mayor es la oportunidad de obtener nuevos descubrimientos médicos, de lograr el desarrollo económico y adaptarse a nuevos desafíos como el cambio climático. También brinda beneficios de carácter cultural y espiritual, ya que los pueblos han encontrado en la naturaleza símbolos, lugares y fuente de inspiración cultural y espiritual. Muchas de las tradiciones y costumbres están ligadas a la existencia de cerros, cuevas, árboles, plantas útiles, etc. Brinda el paisaje para recreación y turismo y tiene la capacidad de mitigar los efectos de las fuertes lluvias y sequías (Estrategia Nacional de Biodiversidad-Guatemala-1999).

2.3 Pérdida de la diversidad biológica:

Guatemala está perdiendo su biodiversidad. La extinción de las especies desde el punto de vista biológico es un fenómeno natural del proceso evolutivo. No obstante, debido a las actividades del hombre, la amenaza que se cierne sobre las especies y los ecosistemas de una extinción acelerada es hoy mayor que nunca. Estas pérdidas no solo son una tragedia ambiental, sino que también tienen profundas repercusiones en el desarrollo económico y social. Lamentablemente, las mejores tierras con auténtica vocación agrícola se han destinado para la producción de productos de exportación y para edificar ciudades tales como las tierras de la Costa Sur, los suelos aluviales de Izabal y ciudades como Guatemala o Escuintla (Cabrera, 1992). Una gran extensión de tierras están dedicadas a la

producción de granos aromáticos (café, cacao, cardamomo) y pastos para ganado de exportación (Castro, 1999).

Esta situación ha llevado a la población a transformar tierras de vocación forestal en tierras de cultivo, como las colinas y las laderas de montañas y volcanes en el altiplano, la mayoría de suelos de Petén, buena parte de la Zona Reina en Alta Verapaz y Quiché. Por tanto, los suelos menos productivos y con mayores limitaciones físicas se destinan a los alimentos y fibras básicas de consumo nacional (Ferraté, 1987).

La pérdida de la biodiversidad puede expresarse por la tasa de deforestación anual: 82,000 ha anuales y Q.5,500 millones perdidos en bienes y servicios derivados de la biodiversidad (Plan de Acción Forestal Para Guatemala -PAFG-, 1998). El 10% de las especies de vertebrados están reportadas en peligro de extinción, así como cuatro familias enteras de plantas incluyendo las 734 especies de orquídeas. Existe pérdida acelerada de especies y variedades nativas alimenticias y medicinales, así como el conocimiento local asociado a la biodiversidad. El material genético nativo ha sido extraído del país, modificado y patentado por compañías multinacionales, por el cual el país no recibe regalías y además debe pagar por su utilización (Castro, 1999).

Las causas básicas del deterioro de la biodiversidad son (Castro, 1999):

- Sistemas y políticas económicas que no atribuyen su debido valor al medio ambiente, sus recursos y sus servicios.
- La falta de seguridad, definición y capacidad de ejercer los derechos de uso y tenencia sobre los recursos naturales (tierra, flora y fauna).
- Fuerte presión sobre los recursos naturales debido a:
 - * La acentuada pobreza de la población que depende de los recursos naturales, cuyo consumo aumenta por el acelerado crecimiento de la población y las pocas oportunidades de desarrollo.
 - * Crecimiento poblacional, particularmente de la población rural.
 - * Desigualdad en la distribución de la propiedad, la gestión y el flujo de los beneficios del uso de los recursos biológicos.
- Sistemas jurídicos e institucionales que promueven una explotación no sostenible.
- Debilidad institucional y del Estado de Derecho.

Las causas fundamentales de la pérdida de la biodiversidad en Guatemala son entonces; la desvalorización de los recursos naturales por el actual modelo de desarrollo, la pobreza de la mayoría de la población, los sistemas de propiedad y acceso a los recursos naturales y la debilidad institucional y legal. Todos estos factores inciden en la pérdida acelerada de la diversidad biológica, la cual es extremadamente rica en el país (Castro, 1999).

2.4 Compromisos y convenios internacionales adquiridos por el Estado de Guatemala para la Conservación de la Biodiversidad en época reciente:

El Convenio Mundial de Biodiversidad (1992), ratificado por Guatemala en 1995, señala que la conservación in situ de la biodiversidad es

una de las medidas centrales que debe tomar la sociedad para salvaguardar el futuro del planeta y sus recursos naturales. Esta creciente preocupación por la biodiversidad se debe a los acelerados procesos de extinción de especies y ecosistemas a nivel mundial, así como, al cada vez mayor valor de uso de los materiales genéticos silvestres que pueden usarse para las nuevas biotecnologías de la industria farmacéutica, alimentaria, agropecuaria, etc. (Castro, 1999).

Para lograr la conservación de la biodiversidad resultante de la diversidad abiótica, Guatemala ha creado un conjunto de áreas protegidas, agrupadas en el Sistema Guatemalteco de Áreas protegidas (SIGAP) bajo la dirección del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) (Castro, 1999).

Por otra parte, el Estado de Guatemala adquirió el compromiso de formular la Estrategia de Biodiversidad al ratificar el Convenio Mundial de Biodiversidad (Art. 6, 1995) y el Convenio Centroamericano de Biodiversidad (Art. 14, 1992). El Estado asignó al CONAP la responsabilidad de formular, conducir y divulgar la Estrategia, en la Ley de Áreas Protegidas (Art. 62c, 110-96). Además de responder a estas leyes, la Estrategia responde a las directrices relativas a los derechos de los Pueblos Indígenas y otras comunidades rurales contenidas en los Acuerdos de Paz y en el Convenio sobre Pueblos Indígenas (Estrategia Nacional de Biodiversidad -ENB- 1999).

2.5 Áreas protegidas:

Existen varias definiciones y conceptos de área protegida, dos ellos son:

- * Áreas protegidas son los reservorios de poblaciones silvestres de animales y vegetales nativas de la región, cuyo potencial económico y ecológico debe incorporarse a los sistemas de producción circundante (Castro, 1999).
- * Son áreas protegidas, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas y críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible (Artículo 7 decreto Ley 4-89).

2.6 Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas -SIGAP-:

En Guatemala, la Ley de Áreas Protegidas (Decreto Legislativo 4-89 y su reforma en el decreto 110-96), establece que el Estado administra un Sistema Guatemalteco de Áreas Silvestres Protegidas SIGAP, con el objeto de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio natural y cultural. Por tanto, las áreas protegidas tienen el objetivo de preservar las zonas de alta significancia por sus valores históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos; de manejar racionalmente y restaurar la flora y fauna silvestre, y de proteger las fuentes de agua, entre otros (Castro, 1999).

SIGAP, es el conjunto de todas las áreas protegidas legalmente declaradas. El consejo nacional de áreas protegidas (CONAP) es la institución responsable de velar por la conservación de la biodiversidad y

de orientar el SIGAP. Integra además, a todas aquellas instituciones u organizaciones, públicas o privadas que administran dichas áreas, las cuales deben estar debidamente registradas en la Secretaría Ejecutiva del CONAP (Castro, 1999).

2.7 Antecedentes históricos del establecimiento de las áreas protegidas.

El establecimiento de áreas protegidas a nivel nacional se remonta a fines del siglo pasado y principios de este. Los primeros registros mencionan los Astilleros Municipales o bosques naturales con un plan especial de manejo para productos madereros en Guatemala, hacia 1870. Las áreas protegidas principiaron siendo un conjunto de pequeñas áreas con potencial recreativo, ubicadas en grandes extensiones de tierra, casi siempre propiedad de la nación. Generalmente las reservas o parques nacionales fueron escogidos en base a criterios estéticos o recreativos o por ser lugares poco productivos o inaccesibles. Muchas de estas áreas protegidas no fueron diseñadas con criterios ecológicos, ni mucho menos, con el propósito de proteger y mantener la biodiversidad (Castro, 1999).

Los primeros parques nacionales fueron creados a finales del mes de mayo de 1955, en la denominada Semana del Arbol, en la cuál, el Presidente de la República Carlos Castillo Armas, acordó declararlos como las zonas de veda definitiva. Estos fueron: Parque de las Naciones Unidas, ubicado en terrenos de la Finca Bárcenas en el departamento de Guatemala; Parque Nacional Río Dulce, que comprende la cuenca de dicho río, desde su desembocadura en el Océano Atlántico, el Golfete y la Cuenca del Lago de Izabal, en el departamento de Izabal; Parque Nacional Tikal en el departamento de Petén y los 33 volcanes existentes en todo el territorio nacional. Además, se incluyó en dicha declaratoria, las Grutas de Lanquín, Los Riscos de Momostenango; El Cerro del Baúl; El Reformador en El Progreso, Los Aposentos, La Laguna del Pino; El Cerro Miramundo y la Bahía de Santo Tomás. Guatemala completó 58 áreas declaradas, bajo 5 categorías de manejo, 154,431 hectáreas, y 8.56% del territorio nacional protegido (MacFarland y Morales, 1981).

Durante el período de 1955 a 1960 se declaró el mayor número de áreas protegidas en la historia del país, con 48 áreas protegidas, casi el 50% de las existentes actualmente (Castro, 1999).

Con la creación del CONAP y el SIGAP en la ley 4-89, toma impulso la protección in situ de los recursos naturales, y se abre el camino para la creación de extensas y diversas áreas protegidas. Del período de 1986 a 1995, se declaran 27 nuevas áreas protegidas, y durante los años 1987-1998 se declararon 16 nuevas áreas, de las cuales 10 son reservas privadas, y otras son Parques Regionales declarados por las municipalidades del occidente (Castro, 1999).

2.8 Categorías de Manejo del SIGAP:

Estas sirven para designar o clasificar a un área protegida dentro de una forma o lineamientos determinados para sus gestiones de administración, así como de su conservación. Cada categoría consigue un conjunto compatible de beneficios, los cuáles están relacionados con objetivos específicos de manejo, tales como rasgos fisiográficos en su estado natural, áreas representativas de formaciones biológicas y la protección de especies raras o en peligro de extinción (CATIE, 1986).

La categoría de manejo más conocida en distintos países del mundo, es la de Parque Nacional. Sin embargo, en base a la experiencia se ha

demonstrado la necesidad de disponer de un repertorio más amplio de categorías de manejo para satisfacer una amplia gama de aspiraciones de conservación y desarrollo sostenible. Según la Ley de Áreas Protegidas se establecen, por lo menos, seis categorías de manejo nacionales dentro de las cuales existe un gran número de categorías específicas. Las categorías son las siguientes:

- I. Parque Nacional Y Reserva Biológica
- II. Biotopo Protegido, Monumento Cultural
- III. Área De Usos Múltiples, Refugio De Vida Silvestre
- IV. Parque Regional, Rutas Y Vías Escénicas
- V. Reserva Natural Privada
- VI. Reserva de Biosfera

La mayor parte de las áreas protegidas delimitadas en Guatemala ha sido declarada como Parques Nacionales (22) y la mayor cobertura con respecto a extensión por hectáreas corresponde a Reserva de Biosfera la cual contempla el uso humano y la interacción con las poblaciones (Castro, 1999).

2.9 Manejo de áreas protegidas:

Para evaluar el manejo del sistema de áreas protegidas se definieron los siguientes criterios como necesarios para tener un manejo adecuado de cada sitio:

1. Plan Maestro vigente (entre 1 y 5 años)
2. Plan operativo anual
3. Personal permanente para la administración y manejo
4. Infraestructura y equipo adecuado para la administración y manejo
5. Declaratoria legal y límites definidos

Para poder cumplir con los criterios de manejo anteriores, se han agrupado cuatro niveles:

- A. Manejo Completo: el cual cumple con todos los criterios
- B. Manejo Activo: el cual cumple con los criterios 3,4,5 como mínimo
- C. Manejo Mínimo: el cual no cumple con los criterios

Cabe destacar, que para el Biotopo Chocón-Machacas y el Parque Nacional Río Dulce, no se cuenta con un Manejo Completo ni con un Manejo Activo, por lo que es de suponer que se aplica un Manejo Mínimo (Castro, 1999).

2.10 Viabilidad Ecológica y Tamaño de las áreas protegidas:

Las áreas protegidas en el SIGAP con objetivos primarios de conservación de la diversidad biológica, deben tener la mayor área posible para mantener poblaciones silvestres viables, siendo más evidente esta necesidad en los mamíferos y las aves. Godoy (1997) propone para la región, criterios de tamaños de áreas protegidas en una escala que va de mejor a excepcional, de la siguiente manera:

1. Mejor: Si las áreas protegidas son mayores a 100,000 hectáreas;
2. Bueno: Si tiene entre 50,000 y 100,000 hectáreas;
3. Aceptable: Si tiene entre 10,000 y 50,000 hectáreas;
4. Excepcional: Si tiene menos de 10,000 hectáreas.

Para el caso específico del área de estudio, la cual se encuentra en el Biotopo Chocón-Machacas y Parque Nacional Río Dulce estos se encuentran dentro de la escala excepcional, ya que poseen una extensión de 6,245 y 7,200 hectáreas respectivamente (Castro, 1999).

2.11 Protección de las Cuenca Hidrográficas:

Para diagnosticar la protección de cuencas se utilizó la priorización de cuencas de Guatemala según la Comisión Nacional de Manejo de Cuenca (CONAMCUEN 1993). Con los siguientes resultados:

Las cuencas de los ríos Usumacinta, San Pedro, Moho, Tikal, Hondo en Petén y Atilán en Sololá, son cuencas con niveles de protección bastante altos y adecuados (del 56 al 100% del área). Samalá, Olopa, Motagua y Mopán tienen rangos de protección mayores del 10% del área, pero no cubren necesariamente las partes altas y frágiles de las cuencas. Las demás cuencas carecen de protección significativa, lo cual deja expuestas importantes cuencas como Chixoy, Ixcán, Selegua, Nenton, Polochic, Cahabón, y Naranjo, las cuales fueron consideradas prioritarias por CONAMCUEN (Castro, 1999).

2.12 Biotopo Chocón-Machacas:

2.12.1 DESCRIPCIÓN:

El biotopo Universitario para la Conservación del Manatí "Chocón-Machacas" (BUCM), se encuentra ubicado en la ribera del Río Chocón, en el margen norte del Golfete, jurisdicción del municipio de Livingston, departamento de Izabal.

También es conocido como Biotopo para la Conservación del Manatí o Biotopo Chocón. Está considerado bajo la categoría y tipo de Área de Manejo de Biotopo protegido (Barrios, 1995).

2.12.2 EXTENSIÓN Y ESTABLECIMIENTO LEGAL:

Su extensión es de 6,245 hectáreas. Fue declarado biotopo según el artículo 89, inciso e del Decreto ley 4-89 (Ley de Áreas Protegidas, publicada en febrero 1989). Actualmente es administrado por el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Barrios, 1995).

2.12.3 VÍAS DE ACCESO E INFRAESTRUCTURA VIAL:

El biotopo se encuentra localizado a 298 km de la Ciudad Capital. Tomando la carretera CA-9N se llega a La Ruidosa, Izabal, en donde se cruza hacia el río Dulce. El río Dulce se atraviesa en lancha hasta llegar al Golfete del lago de Izabal, en donde está el Biotopo. Otra forma de llegar, es por vía acuática desde Livingston (una hora de navegación) (Barrios, 1995).

2.12.4 GEOGRAFÍA FÍSICA, RIQUEZA DE FLORA Y FAUNA:

El ecosistema acuático cuenta con cinco lagunas, dos ríos y seis riachuelos, así como numerosos canales, en algunas áreas hay actividad geotérmica, cavernas y corrientes subterráneas. La parte terrestre es una zona plana, de bosque húmedo tropical y pequeñas colinas kársticas, inundable en época lluviosa (Barrios, 1995).

El manglar y el bosque húmedo, son el hábitat de numerosa y diversa flora y fauna. Entre las especies de fauna más conocidas están: manatíes, venados, jaguares, tepezcutiles, cotuzas, taquacines, micoleones, iguanas, serpientes, oropéndolas, chepíos, guardabarrancos, golondrinas, garzas, pelícanos grises, malaches, gaviotas, tucanes, jaibas, mojarra, róbalo, camarones, almejas, delfines y tortugas (Barrios, 1995).

2.12.5 CLIMA:

La temperatura varía entre 18°C y 27°C, la precipitación es de 5.715 mm/año. La elevación varía de los 10 a los 280 metros sobre nivel del mar (Barrios, 1995).

2.12.6 ASPECTOS ECOBIOLÓGICOS:

Posee flora acuática emergente y sumergida, además de manglares. Según Villar se trata del Bioma de Selva Tropical Lluviosa; según Holdridge, corresponde a la Zona de Vida de bosque muy húmedo Tropical (Barrios, 1995).

2.12.7 SUELOS Y USO POTENCIAL DE LA TIERRA:

Los suelos son calizos, mal drenados e inundados casi durante todo el año. Son de vocación forestal y poco profundos. Según la clasificación de la FAO/UNESCO los suelos del área son Acrisoles.

2.12.8 PATRIMONIO CULTURAL SOBRESALIENTE:

En el área de influencia existe una zona de monumentos arqueológicos coloniales como por ejemplo el Castillo de San Felipe de Lara que se encuentra en el Parque Nacional Río Dulce. Además muy cerca del área (maya) están las Cuevas del Chocón. Hay poblaciones afrocaribeñas (cultura rica en música y danza y en artesanías de lana y lazo), kekchíes y ladinas (Barrios, 1995).

2.12.9 Aspectos Socioeconómicos:**ASENTAMIENTOS HUMANOS:**

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 1500 habitantes (Barrios, 1995).

TENENCIA DE LA TIERRA:

El 67 % son tierras estatales y el 43% son tierras privadas. Se presentan problemas de multiplicidad de dueños de los terrenos y ausencia de escrituras. Esta compleja situación ha motivado un estudio particular que incluye tanto el área del Biotopo como la región de influencia (Barrios, 1995).

USO ACTUAL DE LA TIERRA:

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 (Barrios, 1995).

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES:

De la región son extraídos metales como: níquel, cobalto y cobre. Existe cacería de mamíferos grandes. La pesca es la principal actividad de los pobladores, quienes extraen del Río Dulce y del lago de Izabal especies de peces como: róbalo, bagre, calva, calale, camarón, cubera, guasa, jaiba, jurel, majúa, mero, palomej Y, pámpano, pargo, picudo, sábalo, sierra, tiburón y tortuga de vaca, entre otros (Barrios, 1995).

AMENAZAS:

Algunas amenazas de este importante ecosistema son: invasión de tierras, caza furtiva, tala ilegal de árboles (madera y leña), cambio de uso de la tierra e incendios forestales (Barrios, 1995).

2.12.10 Aspectos de Manejo:**INSTITUCIÓN ADMINISTRADORA:**

La institución encargada es el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

TIPO DE INSTITUCIÓN: Gubernamental/autónoma.

CATEGORÍA Y TIPO DE MANEJO ACTUAL: Biotopo.

PLAN DE MANEJO Y PLANES OPERATIVOS:

Nunca se ha efectuado un estudio técnico del que pueda derivarse un plan de manejo adecuado. Hasta el año de 1995 se trabajaba con el plan de manejo preliminar creado en 1979 para realizar el trámite de legalización del Biotopo (Barrios, 1995).

Con el apoyo del Proyecto de la Región de Conservación y Desarrollo Sarstun-Motagua (RECOSMO), el CECON está realizando las siguientes actividades: elaboración del plan de manejo, planificación anual, identificación de proyectos productivos, turismo, mejoras en la infraestructura de instalaciones administrativas y senderos, elaboración de información escrita y compra de equipo audiovisual para atención a visitantes. Cuenta con un personal de dos guardarrrecursos, nueve peones y un administrador. No existe zona de amortiguamiento (Barrios, 1995).

INFRAESTRUCTURA:

Incluye rancho administrativo, centro turístico para visitantes, tres servicios sanitarios, casa para trabajadores de campo, senderos de patrullaje, guías interpretativas para el sendero terrestre, senderos acuáticos, área para acampar estación meteorológica y muelles (Barrios, 1995).

PROYECCIÓN: Se involucra a las comunidades aledañas en proyectos de protección y mantenimiento (Barrios, 1995).

2.13 Parque Nacional Río Dulce:**2.13.1 DESCRIPCIÓN:**

Se encuentra localizado a 275 km. de la Ciudad Capital y comprende el Río Dulce desde su desembocadura en el Océano Atlántico y Golfete, hasta donde se encuentran las ruinas del Castillo de San Felipe en el lago de Izabal, departamento de Izabal. Incluye un kilómetro de ancho a cada ribera del Río Dulce. También es conocido como Río Dulce. Su categoría y tipo de área manejada pertenece a la de Parque Nacional Protegido con categoría propuesta de área de usos múltiples (Barrios, 1995).

2.13.2 EXTENSION Y ESTABLECIMIENTO LEGAL:

Posee 7,200 hectáreas, incluye cuerpo de agua. Quedó legalmente establecido según Acuerdo Presidencial basado en la Ley Forestal y Publicado el 26 de mayo de 1955.

2.13.3 VIAS DE ACCESO E INFRAESTRUCTURA VIAL:

Desde la Ciudad Capital se puede llegar por tierra a través de la Carretera Internacional CA-9 hasta La Ruidosa, luego se toma la Carretera Nacional CA-13 que conduce hasta el puente del Río Dulce desde donde se puede tomar hacia el Castillo de San Felipe o navegar en lancha el Río Dulce hasta Livingston en Izabal.

2.13.4 GEOGRAFÍA FÍSICA:

El parque posee dos tipos de topografía: un área plana e inundable y un área quebrada que consta de riberas cortadas y bordes con pendientes

de 30 a 60 por ciento. Al margen norte del río, llegan 14 arroyos y al margen sur otros 14, provenientes de las vertientes de los ríos San Gil y Santa Cruz. A lo largo del Río Dulce se han formado varias lagunetas (lagunas en herradura) debido al cambio de ruta que ha sufrido el cauce. El área incluye aproximadamente 80 km² de área inundada, 80 km² de tierra seca y 9 km² de área inundable. A lo largo del río se han localizado dos sitios donde se produce agua caliente: uno frente a playa Sabrina, con aguas que alcanzan los 67°C, y otro en medio del Golfete, entre Cayo Julio y la desembocadura del río Bonito. La parte más honda del Río Dulce alcanza seis y hasta siete pies de profundidad (1.82 - 2.12 m.). El agua del río tiene altos valores de materia orgánica, pH ácido y color oscuro por lo que es necesario tratarla para consumo humano. En cuanto a la geología, el área se encuentra sobre la gran falla del Polochic (Barrios, 1995).

2.13.5 CLIMA:

Según Thornwhite, la temperatura varía entre 17°C y 38°C. La precipitación acumulada anual es de 5,714 mm. Aunque llueve todos los meses del año se diferencia una estación seca de noviembre a abril y una lluviosa de mayo a octubre. Cuando se incrementa la precipitación, se produce un clima tropical lluvioso y húmedo. Existe una fuerte influencia de los vientos alisios con dirección Norte-Sur a una velocidad media de 10 km/h. La evapotranspiración potencial media es de 0.45 0/00. La altitud varía entre 0 a 600 metros sobre el nivel del mar (Barrios, 1995).

2.13.6 ASPECTOS ECOBIOLÓGICOS:

Según Villar se trata del Bioma Selva Tropical Lluviosa. Según Holdridge, la Zona de Vida es el ecotono entre bosque muy húmedo-Tropical y bosque muy húmedo-Sub-tropical. El ecosistema está degradado en un 60% y no existe bosque primario. Tiene lagunetas y manglares estuarinos (Barrios, 1995).

2.13.7 SUELOS Y USO POTENCIAL DE LA TIERRA:

Según la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura (FAO/UNESCO) posee suelos Acrisoles y Luvisoles. En cuanto a su uso potencial, el área es apta para actividades forestales y uso múltiple. Algunas porciones de tierra son buenas para agricultura de primera calidad (Barrios, 1995).

2.13.8 PATRIMONIO CULTURAL SOBRESALIENTE:

Dentro del área se encuentran tres sitios históricos: El Castillo de San Felipe, de estructura colonial, Livingston, de cultura, arquitectura y costumbres garifunas y Herrería, asentamiento colonial y de recreación. Otros sitios arqueológicos importantes lo son: Higueros, Torno de la Virgen, Sitio de Brea, Vigía del Golfete, Cayo Palomo, Las Delicias y el Fuerte de San Carlos. También existen indicios de galeones hundidos (Barrios, 1995).

2.13.9 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS:

ASENTAMIENTOS HUMANOS: Constituidos, hasta 1990, por 29 comunidades con aproximadamente 7,523 habitantes, los poblados ocupan unos 16 km². Los grupos étnicos predominantes son los negros, kekchíes y ladinos guatemaltecos. También hay mexicanos, salvadoreños y hondureños. Del 45 al 55 por ciento de la población vive de la pesca, el resto son asalariados en agricultura, construcción y turismo (Barrios, 1995).

TENENCIA DE LA TIERRA:

La tenencia de propiedad del área protegida se divide en 40 por ciento estatal, 45 por ciento privada y 15 por ciento no determinado. Esto

ha provocado problemas legales de propiedad que han ocasionado la pérdida de gran cantidad de recursos naturales en la región (Barrios, 1995).

USO ACTUAL DE LA TIERRA:

Existen cultivos que ocupan 7.05 km² en huertas familiares. Se cultiva banano, plátano, mango, zapote, jocote, marañón, cítricos, guanabana 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 unos 15 km². La deforestación es grande y asciende a 800 ha anuales (2.2 ha por día) (Barrios, 1995).

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES:

Dentro del área del Parque se llevan a cabo actividades de recreación, turismo y hotelería. Y aunque sin autorizar, existen actividades de pesca (entre 75 y 80% de los pobladores se dedican a ella), cacería y extracción de productos del bosque, principalmente para leña (Barrios, 1995).

AMENAZAS:

Existe 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, con capacidad de 200,000 galones de combustible y sistema de seguridad en caso de derrame. Existe un oleoducto subterráneo a la altura del río San Vicente con dos tanques con capacidades de 3,000 y 5,000 galones y un sistema de seguridad en caso de derrame. Se observa la contaminación por desechos no degradables. La compañía Shell Exploradora abrió un pozo para extracción de petróleo en el área norte del lago de Izabal, cercano a la salida del Río Dulce, el cual no proveyó petróleo a niveles industriales por lo que las investigaciones fueron suspendidas. Hay una alta tasa de deforestación lo cual ha contribuido a la desaparición de las iguanas (Barrios, 1995).

2.13.10 ASPECTOS DE MANEJO:

INSTITUCION ADMINISTRADORA: Dirección General de Bosques y Vida Silvestre (DIGEBOS).

TIPO DE INSTITUCIÓN: Estatal.

CATEGORÍA Y SISTEMA DE MANEJO ACTUAL: Parque Nacional con categoría propuesta de Área de Usos Múltiples.

PLAN DE MANEJO Y PLANES OPERATIVOS: Cuentan con un administrador y cinco guardarecursos. En octubre de 1989 se propuso un proyecto para la crianza de iguanas. Existe un plan maestro, elaborado por DIGEBOS en 1992, con una zonificación como sigue: Zona Primitiva, Zona de Uso Especial, Zona de Uso Intensivo, Zona de Protección Especial, Zona de Cursos de Agua y Zona de Recuperación. Dentro de este plan contemplan aspectos de medio ambiente, uso público y operación (Barrios, 1995).

INFRAESTRUCTURA: El río es navegable en toda su extensión. Existen muelles y aeropuertos que reflejan el desarrollo agroindustrial y minero de la región (Barrios, 1995).

2.14 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EFECTUADOS EN LAS ÚLTIMAS DOS DECADAS EN LAS ÁREAS DE CONSERVACION EN ESTUDIO:

No se han realizado trabajos de tesis sobre la calidad del agua en las dos reservas biológicas anteriores y específicamente sobre la

contaminación por hidrocarburos, nitrógeno y fósforo, aunque si se cuenta con un informe técnico titulado "Calidad del Agua del Lago de Izabal y Principales Tributarios" presentado por un convenio entre Dirección General de Energía Nuclear (DGEN) - Shell (SEBV); (Manuel Basterrechea, 1992.) Los temas de tesis que se refieren al área del departamento de Izabal, incluidas las dos reservas naturales son:

- "Determinación de mamíferos por medio de sus rastros en el Biotopo Chocón Machacas" Livingston Izabal, Guatemala. Trabajo presentado por el Lic. En Biología Otto Rene Sandoval Calderón, en noviembre de 1992.
 - "Determinación preliminar de los hábitos alimenticios de tres especies de Cíclidos (familia CICHLIDAE, OSTEICHTHYES) Del Río Cheeche Jute, por medio de análisis de contenidos estomacales". Trabajo presentado por el Lic. en Biología Jaime A. Tres Irias. Guatemala Marzo de 1985.
 - "Estimación de la distribución y el tamaño poblacional del manatí (*Trichechus manatus* (Trichechidae-Sirenia) en Guatemala". Trabajo presentado por la Licda. En Biología Ester Quintana Rizzo en abril de 1993.
- "Prevalencia de intoxicación por plomo en pescadores de la región del lago de Izabal". Trabajo presentado por la Licda. en Química Biológica Edna Lily Hidalgo de Quan. Guatemala mes de Julio de 1982.

3. JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista ecológico, se considera indispensable efectuar un estudio sobre la calidad del agua en las reservas naturales; Biotopo Chocón Machacas y Parque Nacional Río Dulce, ya que cuentan con una gran biodiversidad de especies en los distintos hábitats (aire, tierra y agua), siendo el agua, la fuente principal que mantiene activos los ciclos en los diferentes ecosistemas, por lo que resulta de gran importancia efectuar un estudio al respecto.

Es necesario efectuar un análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la región por las siguientes cinco causas: 1) Los HAP's son compuestos cuyos niveles de toxicidad son elevadamente altos. 2) Por debajo del Río Dulce (en un área específica) atraviesa un oleoducto, el cual puede ser un factor de riesgo para la región. 3) La utilización de lanchas constituye otra causa de posible contaminación, producto de fugas de combustible. 4) El Río Dulce tiene como tributario al río Chino Creek, el cual posee cerca de sus orillas un depósito de combustible. 5) Sobre el agua y en una de las orillas del Río Dulce, existen gasolineras que abastecen de combustible a los vehículos acuáticos.

Resulta importante determinar el grado de contaminación que puede representar para estas reservas, los desechos que llegan directamente de los ríos, el lago de Izabal, y el mar (en forma de nitratos y fosfatos) tanto los provenientes de los chalets y poblaciones, como también los contaminantes que son producto del turismo y la recreación, factores que en determinado momento podrían ser causantes de una posible eutrofización de las reservas acuáticas.

4. OBJETIVOS

6.1 General:

1. Evaluar la situación actual de la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos y nutrientes en el agua del Biotopo Chocón Machacas y Parque Nacional Río Dulce.

6.2 Específicos:

1. Determinar mediante un método analítico (utilizando cromatografía de gases) la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua [acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno].
2. Determinar los niveles de nutrientes (especies químicas nitrogenadas y fosfatadas) presentes en distintos puntos del Biotopo Chocón Machacas y el Parque Nacional Río Dulce.
3. Aplicar en forma correcta y eficaz las metodologías empleadas para el análisis de nitrógeno y fósforo.
4. Determinar las siguientes propiedades: pH, conductividad, sólidos totales, salinidad.

5. HIPÓTESIS

El agua del Biotopo Chocón Machacas y el Parque Nacional Río Dulce se encuentra dentro de los límites permitidos de contaminación tanto por hidrocarburos aromáticos policíclicos como por especies químicas nitrogenadas y fosfatadas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado como valores límite en agua las siguientes concentraciones: Hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua; benzopireno: 7.5×10^{-6} ppm; total de hidrocarburos aromáticos policíclicos: 3×10^{-5} ppm; nitrógeno total para aguas superficiales templadas: hasta 1000(g/L); fósforo total para "algunas" aguas naturales templadas, entre 10 y 70 (g/L). Cabe mencionar que para nitrógeno y fósforo total no se dispone de referencias (en cuanto a cantidades exactas) para aguas naturales ni para sedimentos, ya que sus concentraciones totales dependen de las condiciones particulares de cada ecosistema.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Universo: Agua del Biotopo Chocón Machacas y Parque Nacional Río Dulce.

Muestra: Diez diferentes muestras de agua recolectadas de los diez distintos puntos muestreados, los cuales se encuentran ubicados entre las dos reservas naturales anteriores.

6.1 Materiales: Proporcionados por la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia así como el Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), ambos pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

6.1.1 Equipo:

- * Espectrofotómetro UV-Visible Perkin Elmer Lambda-3.
- * Cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama.
- * Columna: PTE-5, 30m x 0.25mm. Película de 0.25mm.
- * Cámara de distribución de vacío para SPE con mangueras y válvulas de control de flujo.

- * Medidor de oxígeno disuelto, portátil.
- Horno de convección VWR 1300 v.
- Balanza Analítica AND.FR-200 MK II.
- Desecadora Boeckell.
- Potenciómetro.
- Conductímetro.
- Bomba de vacío.
- Refrigerador.
- Computadora.
- Integrador cromatográfico Perkin Elmer GD-100 Graphics printer.

6.1.2 Instrumentos:

- Jeringa de Inyección Cromatográfica graduada en (l).
- Tubos de extracción en fase sólida (SPE): ENVI-18 (octadecil, (17%, extremo encapsulado), de fase reversa, para extracción de analitos no polares a moderadamente polares de muestras acuosas.
- Vortex.
- Pipetas y Micropipetas automáticas graduadas (ml y (l)).
- Puntas para micropipetas.
- Botellas de vidrio (Ambar) de 1 L.
- Botellas de Plástico (polietileno o polipropileno de alta densidad) de 1 L.
- Espátulas.
- Termómetro.
- Pizeta.
- Embudo para vacío (Buchner).
- Cápsula de Porcelana.

6.1.3 Cristalería:

- Embudos (distintos tamaños y tipos)
- Tubos de ensayo
- Vidrios de reloj
- Varillas agitadoras
- Balones aforados de diferentes volúmenes
- Tubos de tapón de rosca de 50 ml de capacidad
- Vasos de precipitar de diferentes volúmenes

6.1.4 Varios:

- Papel térmico para cromatografía de gases.
- Papel filtro.

6.1.5 Reactivos:

- Metanol (para cromatografía).
- Solución estándar: Compuesta de hidrocarburos aromáticos policíclicos diversos. Ver objetivos específicos.
- Agua destilada y doblemente destilada.
- Cinc metálico en polvo (para reducción en columna).
- Cloruro de amonio (grado analítico).
- EDTA (grado analítico).
- Acido clorhídrico (concentrado, grado analítico).
- Sulfato de cobre pentahidratado (grado analítico).
- Sulfanilamida (grado analítico).
- N-(1-Naphthyl)-Étilendiamin dihidrocloruro (grado analítico).
- Nitrate de potasio (grado analítico).
- Nitrito de Sodio (grado analítico).
- Molibdato de amonio (grado analítico).
- Vanadato de amonio (grado analítico).
- Acido nítrico (concentrado, grado analítico).
- Fosfato diácido de potasio (grado analítico).

6.2 Métodos:

6.2.1 Diseño de Investigación

6.2.2 Muestreo:

Forma: Con el objetivo de obtener muestras representativas y satisfactorias, se efectuaron tres muestreos en distintas fechas/épocas del año a intervalos no menores de dos meses, Septiembre (2001) - Marzo (2002) - Junio (2002).

Tamaño: Se analizaron muestras de diez diferentes puntos ubicados en las áreas protegidas investigadas, de tal manera que al efectuar tres viajes de muestreo se obtuvo un total de N = 30 muestras, para el estudio.

Cabe mencionar que los detalles sobre la elección del sitio y toma de las muestras, dependió en gran medida de las condiciones locales en las que se efectuó el trabajo de recolección de las mismas. Así también debe tomarse muy en cuenta que cuanto más corto sea el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis de la muestra, más confiables serán los resultados de los análisis efectuados, minimizando de este modo cualquier alteración química o biológica en las mismas.

6.3 Variables:

- Hidrocarburos aromáticos policíclicos: [acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno].
- Nitrógeno.
- Fósforo.
- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Sólidos totales.
- Oxígeno disuelto.
- Temperatura.
- Potencial de óxido-reducción

6.4 Análisis de Resultados:

Se analizaron de dos formas diferentes:

1. Comparando los resultados de cada uno de los diez puntos de muestreo con los límites permitidos (según normas COGUANOR y OMS entre otras clasificaciones) tanto para hidrocarburos, nitrógeno y fósforo, así como su relación o variación en las distintas épocas del año.
2. Determinando los valores promedio de los diez puntos muestreados (hidrocarburos, nitrógeno y fósforo de manera independiente) comparándolos con valores de parámetros permitidos (según normas COGUANOR y OMS entre otras clasificaciones). También la variación que estos valores promedio puedan presentar durante las distintas épocas del año.

6.5 Ubicación y descripción de los puntos muestreados: (ver mapa No. 1 de anexos)

Punto No. 1: Se encuentra ubicado debajo del puente que atraviesa el Río Dulce, en la parte más estrecha del mismo. Por lo general, el río cuenta con una corriente rápida y fuerte. Además posee un alto flujo de circulación de vehículos acuáticos. Por su ubicación

se encuentra influenciado por los siguientes lugares y poblados: Finca La Esperanza, Hacienda Río Dulce, Mari Monte, Fronteras. Es un punto densamente poblado y posee cerca de sus orillas la mayor cantidad de tierras con demandas de arrendamiento (OCREN, 1997). Cercano a este punto se encuentran zonas de tierra de uso intensivo. Es el punto que posee cerca la mayor área de viviendas (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

Cerca de éste, existen tierras con pastos cultivados (agricultura), pastos naturales, selva perennifolia inundable y una pequeña porción de selva perennifolia no inundable. El tipo de erosión que existe en el área es del tipo laminar, laminar-surcos, en carcavas y surcos-carcavas. Muy cerca se encuentra la cuenca con drenaje del río Rosol (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 2:** Se encuentra ubicado antes del oleoducto (de sur a norte) que atraviesa el Río Dulce, en la parte media del río. Posee también un alto flujo en la circulación de vehículos acuáticos. Por su ubicación posee influencia de los siguientes lugares y poblados: San Jorge, El Manguito y La Esmeralda, los cuales son densamente poblados. Los terrenos cercanos poseen regular demanda para arrendamientos (OCREN, 1997). Cercano a este punto se encuentran zonas de tierra de uso intensivo y pocas zonas que pertenecen al Biotopo Chocón Machacas (zona primitiva) (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

Muy cerca de éste, existen áreas con selva perennifolia inundable, tierras húmedas con pastos, pastos (cultivados y cultivos perennes en gran proporción) y pequeñas porciones con pastos naturales (ganadería). El tipo de erosión que se da en el lugar es de características laminar y laminar-surcos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 3:** Se encuentra ubicado por encima del oleoducto que atraviesa el Río Dulce, en la parte media del río. También posee un alto flujo en la circulación de vehículos acuáticos. Por su ubicación posee influencia de los siguientes lugares y poblados: San Jorge, El Manguito, La Esmeralda y La Bocadillo, los cuales son densamente poblados. Cercano a este desemboca el río Sejá el cuál posee poblados cercanos a sus riberas. Existen también zonas de tierra de uso intensivo, sin embargo los lugares cercanos no poseen mucha demanda de arrendamientos (OCREN, 1997).

Cerca de este punto, se encuentran pequeñas zonas con pastos naturales (ganadería), cultivos perennes, pastos cultivados en gran proporción y selva perennifolia inundable. Muy cerca se encuentran las cuencas con drenajes de los ríos Juan Vicente y Sosela. El tipo de erosión que se da en el lugar es laminar (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 4:** Se encuentra ubicado después del oleoducto (de sur a norte) que atraviesa el Río Dulce, en la parte media del río. Posee un alto flujo en la circulación de vehículos acuáticos. Por su ubicación posee influencia de los siguientes lugares y poblados: Camacho, La Bocadillo, Hotel del Río, Joya de Oro, Camelias, La Coloza, Casa Guatemala, Poblado Brisas del Golfete, Finca Sientos. Se puede considerar densamente poblado. Cercano a éste desemboca el río Ciénaga. Existen zonas de tierra de uso intensivo y posee regular demanda para arrendamientos (OCREN, 1997).

Muy cerca de este punto existen zonas de selva perennifolia

inundable y zonas con pastos naturales (ganadería). Próximo a éste se encuentra la cuenca con drenaje del río Sosela. El tipo de erosión que se da en el lugar es de características laminar y laminar-surcos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 5:** Se encuentra ubicado en la parte media de la entrada al golfete (de Sur a norte). Posee una circulación moderada de vehículos acuáticos. Por su ubicación posee influencia del lugar llamado Los Cocos. En las orillas de este punto inicia el Biotopo Chocón Machacas (zona primitiva) y convergen tanto zonas de uso intensivo como zonas de recuperación, además existe muy poca demanda de arrendamientos (OCREN, 1997).

Cerca de este punto se encuentran zonas de selva perennifolia inundable y pequeñas extensiones de humedal y áreas con pastos para ganadería. Próximo a éste se encuentra la cuenca con drenaje del río Ciénaga. El tipo de erosión que se da en el lugar es laminar (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 6:** Se encuentra ubicado en el centro del golfete, es el lugar más abierto de la cuenca del Río Dulce. Comparativamente con los puntos anteriores, posee una circulación menor de vehículos acuáticos. Por su ubicación posee influencia de los siguientes lugares y poblados: Finca Higuero, Finca La Sirena, Finca Rancho Grande, Rancho Carrillo Carrier, Monte Sión, Rajuil, Punta de Dario, así como los ríos; Bonito, San Gil, Machacas. Posee poca influencia de poblaciones densas. En las orillas de este punto convergen las zonas del Biotopo Chocón Machacas, zonas de uso especial y zonas de recuperación, además existen pocos lugares cercanos con demanda de arrendamientos (OCREN, 1997).

Este punto posee dos orillas (las cuales se encuentran relativamente retiradas), en la del lado oeste existen grandes extensiones de selva perennifolia inundable, máxime en las riberas del río Machacas, donde también se encuentran humedales y bosques pantanosos. Existen zonas con selva perennifolia no inundable, algunas áreas con pastos naturales (ganadería) y pocas zonas con bosque secundario o tierras de descanso. Hacia el lado este, existe gran extensión con pastos naturales (ganadería), algunas zonas con selva perennifolia inundable, una pequeña área con pastos cultivados y una pequeña porción de tierras húmedas o inundables con pastos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 7:** Se encuentra ubicado en la orilla este del centro del golfete (de sur a norte) y por lo general posee aguas tranquilas. La circulación de vehículos acuáticos en esta área es poca. Por su ubicación posee la influencia de los siguientes lugares y poblados: Finca Higuero, Finca La Sirena, Río Bonito, Monte Sión, Rajuil. En las orillas de este punto existen zonas clasificadas como de uso especial, también posee cerca sitios para el transporte aéreo, no existen poblados con mucha densidad de habitantes, además existen muy pocos sitios con demanda de arrendamientos (OCREN, 1997).

Cercano a este punto existe una gran extensión con pastos naturales (ganadería), algunas zonas con selva perennifolia inundable, una pequeña área con pastos cultivados y una pequeña porción de tierras húmedas o inundables con pastos. Próximo a este, se encuentran las cuencas con drenajes de los siguientes ríos: San Gil, Tato, Bonito y Jinerito. El tipo de erosión que se da en este lugar es de características laminar y laminar-surcos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 8:** Se encuentra ubicado en la orilla oeste del centro del golfete (de sur a norte), también posee aguas generalmente tranquilas y la circulación de vehículos acuáticos es relativamente baja. Por su ubicación posee influencia de los siguientes lugares y poblados: Finca Rancho Grande, Rancho Carrillo Cario, Comunidad Punta Arenas. Cercano a este se encuentra el río Machacas el cual posee poblados cercanos a su ribera. Existe poca influencia por poblaciones densas en habitantes. Próximo a la orilla de este punto existen dos tipos de zonas; la de recuperación y la del Biotopo Chocón Machacas, además existen muy pocos sitios con demanda de arrendamientos (OCREN, 1997).

Cercano a este punto existen grandes extensiones de selva perennifolia inundable, máxime en las riberas del río Machacas, donde también se encuentran humedales y bosques pantanosos. Existen también zonas con selva perennifolia no inundable, algunas áreas con pastos naturales (ganadería) y pocas zonas con bosque secundario o tierras de descanso. Próximo a éste se encuentra la cuenca con drenaje del río Chocón Machacas-Calix Creek. Los tipos de erosión que existen en el área son de características laminar, surcos cárcavas y depósito de sedimentos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No. 9:** Se encuentra ubicado en la parte media de la salida del golfete (de sur a norte). La circulación de vehículos acuáticos es moderada (depende mucho de la época). Posee influencia de los siguientes lugares y poblados: Nueva Esperanza, Tamaja, La Pedrera, El Mazanito, El Gallito, Zanahoria, río Quemado. Existe regular influencia en cuanto a poblaciones poco densas. Cerca de la orilla existen muchos sitios con demanda de arrendamientos (OCREN, 1997). El área cuenta con dos tipos de zonas; la de recuperación y la de protección especial. Cercano al río Chino Creek existe un depósito de combustible (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

Próximas a este punto existen áreas de selva perennifolia inundable (más que todo en las orillas) y algunas áreas con pastos naturales (ganadería). En áreas internas de la orilla existen amplias zonas de selva perennifolia no inundable. Este punto posee la cuenca con drenaje cercano del río Chiquimulilla. El área posee erosión de los siguientes tipos: laminar, cárcavas, surcos-carcavas, laminar surcos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

- **Punto No.10:** Está ubicado cerca del muelle del Biotopo Chocón Machacas, posee aguas generalmente tranquilas. En cuanto a la circulación de vehículos acuáticos, son altamente predominantes los que utilizan y pertenecen a las autoridades encargadas del manejo y administración del Biotopo. Existe poca influencia en cuanto a densidad poblacional (pocos poblados). Cercano a la orilla no existen sitios con demanda de arrendamientos (OCREN, 1997). Por su ubicación se encuentra influenciado por los siguientes lugares y poblados: Chiquimulilla, El Jute, Nueva Esperanza, Tamaja, Salvador. En las orillas de este punto existen zonas de recuperación y el Biotopo Chocón Machacas (zona primitiva) (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

Próximo a este punto existen básicamente dos tipos de zonas: la primera posee características de selva perennifolia inundable y la segunda es una selva perennifolia no inundable. Este punto posee la cuenca con drenaje cercano del río Chocón Machacas - Calix Creek.

El área posee erosión de los siguientes tipos: cárcavas, surcos-carcavas y laminar-surcos (CONAMA-CONAP-UVG, 1997).

Por último, a lo largo del Río Dulce el total de sitios con demanda de arrendamiento es de veinticinco, los cuales en su mayoría los cubren los diez puntos muestreados, siendo los puntos 1 y 9 los que poseen la mayor cantidad.

6.6 Procedimiento efectuado para el muestreo:

- Se lavaron (con extrán libre de fosfatos) y secaron 10 frascos color ámbar con capacidad de 1 litro.
- Se lavaron (con extrán libre de fosfatos) y secaron 10 frascos de polietileno de alta densidad color blanco con capacidad de 1 litro.
- Los frascos y botellas fueron dejados en un baño con ácido, HCl 0.1 N.
- Se lavaron con agua destilada.
- Se secaron.
- Cada uno de los frascos anteriores se etiquetó debidamente.
- Fueron cerrados perfectamente.
- Se revisó y calibró el equipo que mide las propiedades físicoquímicas
- Una vez ubicados en el sitio de muestreo seleccionado se procedió a:
 - Apagar el motor de la lancha.
 - Se evitó tomar la muestra cerca del motor, así también que la corriente del agua facilitara la llegada de contaminación por el mismo.
 - Se tuvo en consideración evitar el posible contacto de las grasas corpóreas o bien de la mano, con la entrada del agua hacia la boca del frasco.
 - Se seleccionó la profundidad adecuada, (para un fluido de característica semi-laminar. El comportamiento de este fluido depende de la hora o bien la estación del año).
 - Se efectuaron tres lavados previos a cada botella con el agua de la muestra, antes de la recolección definitiva.
 - Se recolectó la muestra introduciendo totalmente el frasco/botella en el agua.
 - Se sacó el frasco/botella del agua y se cerró perfectamente.
 - Se guardó de inmediato y fue almacenado a una temperatura inferior a los 4°C.
 - Las muestras fueron transportadas en una hielera debidamente preparada y se efectuaron sus respectivos análisis.

6.6.1 Extracción en Fase Sólida:

La preparación de muestras se puede efectuar de dos maneras: En la primera, (que fue la utilizada) los analitos de interés se retienen en el material de relleno de columnas para extracción SPE. La mayoría de los contaminantes que contiene la muestra, pasan por el relleno sin ser retenidos. Los contaminantes retenidos en el relleno con los analitos de interés son eliminados selectivamente mientras que los analitos de interés son eluidos con un pequeño volumen de solvente o mezcla de solventes apropiados. La muestra limpia y concentrada queda lista para análisis con CG, HPLC, u otras técnicas convencionales.

En la segunda, la muestra se coloca en el tubo SPE los analitos de interés se recogen al pasar por el adsorbente, sin ser retenidos. Los contaminantes se quedan en el relleno y pueden ser desechados junto con el tubo.

6.6.2 Acondicionamiento del tubo SPE:

- Se acondicionó el tubo SPE para activar el relleno antes de la extracción.
- El solvente acondicionador fue una mezcla de tolueno:metanol (10:1), metanol y agua desmineralizada (este depende del relleno del tubo y de la aplicación).
- Para evitar que se seque el relleno SPE durante el acondicionamiento, se dejó 1mm del solvente acondicionador sobre la frita del tubo.
- Si la muestra ha de introducirse desde un recipiente (como sucedió en este caso) o tubo de filtración, añadir 0,5 ml más de solución acondicionadora a un tubo SPE de 1 ml; 2 ml de solución a un tubo de 3 ml; o 4 ml de solución a un tubo de 6 ml (éste fue el que se utilizó).
- Si el relleno se seca antes de añadir la muestra, se debe repetir el proceso de acondicionamiento, en este caso no fue necesario.
- Se deben enjuagar las sales del buffer del tubo con agua, antes de reintroducir solventes orgánicos (no fue necesario). Se conectó el recipiente (frasco que contenía la muestra) con el sistema de vacío que contenía los tubos SPE utilizando para ello un adaptador.

6.6.3 Vertido de la muestra:

- La muestra debe ser vertida con mucha precisión al tubo o recipiente, utilizando para ello una pipeta volumétrica o micropipeta, sin embargo, en este paso del procedimiento, se tuvo la ventaja de contar con mangueras que succionaban directamente la muestra.
- El volumen total de la muestra puede variar desde microlitros hasta litros.
- Si son extraídos volúmenes excesivos de soluciones acuosas, los rellenos de fase inversa irán perdiendo gradualmente la capa de solvente adquirida mediante el acondicionamiento, lo cual reduciría la eficiencia de la extracción y la recuperación de la muestra.
- Para máxima capacidad de extracción, trabajar con muestras que no excedan los 250 ml para aplicaciones de fase inversa en las cuales se extraen soluciones acuosas.
- Para favorecer la retención de los compuestos en el relleno y la elución o precipitación de los compuestos no deseados, ajustar a discreción el pH, la concentración de sal y/o el contenido de solvente orgánico en la solución de muestra.
- Para evitar tapar las fritas de la columna, filtrar o centrifugar las muestras antes de efectuar la operación.
- Cuando los compuestos de interés son retenidos en el relleno, se deben eliminar los materiales no deseados con la misma solución en que la muestra fue disuelta (u otra solución que no elimine los compuestos deseados).
- Para eliminar materiales no deseados retenidos débilmente, lavar el relleno con soluciones más fuertes que la matriz de la muestra, pero menos fuertes de lo necesario para eliminar los compuestos de interés.
- Solventes puros o mezclas de solventes que difieran suficientemente en polaridad con respecto al eluyente final también son útiles como soluciones de lavado.

6.7 Cromatografía de Gases (CG):**6.7.1 Acondicionamiento de la columna**

Procedimiento necesario que permite dejar la columna en condiciones aptas e idóneas para efectuar en ella los respectivos análisis.

- Muestras: Mezcla estándar de hidrocarburos aromáticos policíclicos (se prepararon distintas soluciones a concentraciones conocidas).
- Tubo de extracción: Supelclean ENVI-18, 6mL, 0.5g (empacado).
- Fase estacionaria: poli (5% difenil95% dimetilsiloxano).

6.7.2 Procedimiento:

- Mantener durante 30 minutos a 280°C, incrementando la temperatura a una velocidad de 15°C/min.
- 2 x 6mL tolueno:metanol (10:1)
- corriendo 6 mL de metanol y luego 6mL de agua desionizada.

6.7.3 Análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos por medio deCG:

- Muestras: Diferentes soluciones y concentraciones de las distintas muestras recolectadas.
- Adición de la muestra: 250mL, a una velocidad de 10mL/min.
- Secado: 10 min.
- Elución: 2 x 1mL de tolueno:metanol (10:1).
- Evaporar los 2 ml obtenidos hasta sequedad. Utilizar vacío (no aplicar calor) y luego reconstituir con 100 µl de mezcla de solventes.
- Columna SUPELCO PTE-5, 30 m x 0.25 mm DI, 0.25 µm (película).
- Horno: Mantener a 70°C durante 2 minutos, luego llevar a 280°C incrementándose 8°C/min.
- Fase móvil: Helio.
- Detector: FID, 310°C.
- Inyector: 250°C. (1µL). (ver figura No. 8 de anexos).

6.8 Nitrato, método de reducción con cadmio:**6.8.1 Estandarización**

- Se elaboró una curva con estándar (KNO₃) de 10 a 200 µg de N-NO₃/L. (seis diluciones en concentraciones de: 0, 10, 40, 80, 120, 160 y 200 µ/L).
- Procedimiento para una estandarización diaria:
 - a. Diluir 1.0 mL de estándar 1mg/mL a 100 mL, esta solución es de 10 mg N-NO₃/L.
 - b. Diluir 10.0 mL de la solución de 10mg/L a 1000 mL; esta solución estándar es de 100(g N-NO₃/L).
- Utilizar la solución de 100(g/L como solución estándar y tratarlas exactamente igual a las muestras en el procedimiento siguiente.

6.8.2 Procedimiento

Primera Parte: Preparación de la Columna Reductora.

Llenado con cadmio (cobre, plata) en gránulos.
0.5 mm < tamaño < 2mm (50 g/ columna

1. Por columna pesar 50 g. de gránulos de cadmio secos. Utilizar o bien vaciar el cadmio utilizado en viejas columnas.
2. Los gránulos fueron lavados rápidamente con apróx. 400 ml de HCl 6N. Luego lavados con agua destilada 2 o 3 veces. El sobrenadante no debe ser muy ácido (pH<5).
3. Se mezclaron y agitaron 100g. de gránulos de cadmio con 500 ml de CuSO₄ (5 H₂O al 2% hasta que todo el color azul desapareció y las partículas de cobre semicoloidales empezaron a penetrar en el líquido sobrenadante. Las partículas de cobre-cadmio fueron lavadas con suficiente agua destilada para remover cualquier precipitado del cobre.
4. El fondo de la columna reductora fue tapado con lana de vidrio.

5. La columna fue llenada con el líquido que se utilizó en la preparación del cadmio.
6. Los gránulos de cadmio-cobre fueron colocados hasta haber obtenido 30 cm. de profundidad. Tapando un lado de la columna y asegurando que el llenado estuviese bien compacto.
7. La columna fue lavada con solución de NH_4Cl -EDTA diluida.(30%)
8. Se tuvo un monitoreo constante en la velocidad del flujo. Este se mantuvo dentro del rango de 100ml/5min a 100ml/12 min.
9. La parte superior de la columna fue tapada con lana de cobre. La columna fue preparada dejando fluir 500 ml de solución estándar de N-NO_3^- de concentración 100 (g/L) continuamente, a una velocidad cercana a los 7 o 10 ml/min.
10. Cuando la columna no se encuentra en uso, el cadmio debe estar completamente cubierto con solución diluida de NH_4Cl -EDTA todo el tiempo y la columna cubierta con papel aluminio.
11. Cuando los estándares muestran que la eficiencia de la columna se encuentra baja ($\leq 75\%$ recuperación), el llenado de cadmio necesita ser retirado, procediendo de la siguiente forma:
 - a. Vaciar el cadmio de cuatro columnas dentro de un beaker y agitar vigorosamente con 300 ml de HCl 6N.
 - b. Decantar el ácido y repetir el procedimiento.
 - c. Lavar el metal con porciones de 200-300 ml de agua destilada hasta que el sobrenadante no tenga una acidez muy alta ($\text{pH} > 5$); decantar el líquido y permitir que el metal se seque.
 - d. Retirar el metal con solución de CuSO_4 y ahí debe encontrarse bastante cadmio regenerado, suficiente para hacer llenar otras tres columnas.

Segunda Parte: Técnica para analizar el nitrato:

1. Se calibró la velocidad del flujo en la columna reductora con solución diluida de NH_4Cl -EDTA de modo que 10 ml de solución pasaran continuamente por la columna en 1 minuto, permitiendo que la solución diluida de NH_4Cl -EDTA utilizada en la calibración, drenara hacia fuera.
2. Se midieron 100ml de muestra filtrada (papel filtro GF/C o poro de $0.45\mu\text{m}$) dentro de un beaker de 250ml. La concentración de la muestra no puede estar por encima de los $200\mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$. Si las muestras tienden a exceder esta concentración deben ser diluidas anteriormente a la reducción. Se agregaron 2ml de NH_4Cl -EDTA concentrado a cada 100ml de las muestras y se mezclaron. La ligera acidificación de la muestra por la adición de NH_4Cl -EDTA es importante para una lenta desactivación del proceso, la columna tiene capacidad para analizar por lo menos 100 muestras.
3. Se agregaron 5ml de muestra dentro de la columna permitiendo que pasaran continuamente, agregando luego, parte de la muestra que quedó dentro del beaker al enjuague, drenando la columna y colectando los primeros 40ml de muestra en una probeta graduada de 50ml. Esta porción de la muestra fue descartada y se colectó la porción que quedó en el beaker de 250ml. El paso de los 40ml limpia la columna de la primera muestra.
4. Tan pronto como la muestra pasó continuamente por la columna, se midió una alícuota de 50ml en una probeta graduada de 50ml, descartando la porción que quedó y regresando la alícuota de 50ml al beaker.
5. Cuando se ha seguido el procedimiento anterior, ya no es necesario enjuagar cualquiera de las probetas utilizadas o bien la columna entre cada muestra, a menos que los cambios entre las concentraciones sean extremadamente marcados.

6. Siguiendo el método para la determinación del reactivo N-NO_2^- , se obtiene la absorbancia de la muestra reducida a 543 nm en una celda de 1 ó 5 cm.

Cálculos:

1. Se calculó el nitrato total y el nitrógeno de nitrito contenido en las muestras de la manera siguiente

$$\mu\text{g} (\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) - \text{N/L} = (\text{Abs}_{\text{muestra}} - \text{Abs}_{\text{blanco}}) (m^{-1}) (df)$$

donde;

$$m^{-1} = \frac{\rho \text{concentración}}{\rho \text{absorbancia}} = \frac{100 - 0}{\text{Abs}_{\text{std}} - \text{Abs}_{\text{blanco}}}$$

$df = \text{factor de dilución.}$

Si un 10% de la muestra es utilizada, $df = 10$; si un 5% de muestra es utilizada, $df = 20$.

2. Utilizando los valores de los cálculos anteriores, el nitrógeno de nitrato puede ser calculado por sustracción del nitrógeno de nitrito, del total:

$$\mu\text{g N-NO}_3^-/\text{L} = \mu\text{g N-(NO}_3^- + \text{NO}_2^-)/\text{L} - \mu\text{g(N-NO}_2^-)/\text{L}$$

Y el cálculo de N-NO_2^- se efectuó de la siguiente forma:

$$\mu\text{g N-NO}_2^-/\text{L} = (\text{Abs}_{\text{muestra}} - \text{Abs}_{\text{blanco}}) (m^{-1}) (df)$$

$$\text{en donde: } m^{-1} = \frac{\rho \text{concentración}}{\rho \text{absorbancia}} = \frac{*35 - 0}{\text{Abs}_{\text{std}} - \text{Abs}_{\text{blanco}}}$$

*35 : solución patrón diluida (NaNO_2), la cual posee una concentración de $35\mu\text{g/L}$.

$df = \text{factor de dilución, para el cual:}$

Si un 10% de la muestra es utilizada, el $df = 10$, si un 5% de la muestra es utilizada, entonces el $df = 20$.

6.9 Análisis de fosfatos:

6.9.1 Preparación de reactivos

Molibdato de amonio-vanadato de amonio en ácido nítrico. Se disuelven 22.5g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 400ml de agua. Por aparte, disolver 1.25g de vanadato de amonio en 300ml de agua hirviendo. Agréguese la solución de vanadato de amonio a la de molibdato de amonio y enfríese a la temperatura ambiente. Añadir 250ml de ácido nítrico concentrado y diluir a un litro.

6.9.2 Estándar de fosfato

Disolver 0.2195g de KH_2PO_4 y diluir a un litro. Esta solución contendrá 50 ppm de fósforo.

6.9.3 Procedimiento

Se transfirió una alícuota que contenía entre 0.1 - 1.0 mg de fósforo a un matraz volumétrico de 50ml. Se añadieron 10ml del reactivo de molibdato de amonio-vanadato de amonio. Se mezcló y diluyó al volumen correspondiente, mezclándose nuevamente. Al cabo de 30 minutos, se leyó la absorbancia de color a una longitud de onda de 470 m, en un espectrofotómetro. Determinándose el fósforo, por medio de una curva preparada a partir de estándares. Estándares recomendados: Se tomaron alícuotas de 0, 5, 10, 15, y 20ml de la solución estándar de fósforo de 50 ppm, llevadas a un volumen de 1L, desarrollando el color respectivo y procediendo luego a su medición. (ver figura No. 7 de anexos).

7. RESULTADOS

Cuadro No.1

Resultados de nutrientes e hidrocarburos obtenidos durante el primer muestreo efectuado en el mes de septiembre de 2001.

Puntos Muestreados	N-NO ₃ (ppm)	N-NO ₂ (ppm)	P-PO ₄ (ppm)	*HAP's	**Otros Hidrocarburos encontrados
Punto 1 Bajo el puente.	0.31	0.001	0.02	N.M	N.M
Punto 2 Antes del oleoducto.	0.46	0.001	0.06	N.D	Ciclohexadecano, Nonadecano, Alcohol estearílico, Pentadecano y Octadecano.
Punto 3 Sobre el oleoducto.	0.51	0.002	0.07	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Hexadecano, 2-octadeciloxietanol.
Punto 4 Después del Oleoducto	0.50	0.002	0.09	N.D	Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano, Octadecano, 2-Octadeciloxietanol
Punto 5 Entrada al golfete.	0.65	0.004	0.10	N.D	Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano, Acido mirístico, Undecano.
Punto 6 Centro del golfete.	0.57	0.003	0.07	N.D	Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, Alcohol estearílico, Octadecano, Tridecano.
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	0.55	0.002	0.06	N.D	2-Octadeciloxietanol.
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	0.60	0.004	0.09	N.D	2-Octadeciloxietanol, Octadecano.
Punto 9 Salida del golfete.	0.62	0.005	0.10	N.D	Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano, Octacosano, 2-Octadeciloxietanol.
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	0.53	0.004	0.08	N.D	Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano, Octadecano.
\bar{X}	0.53	0.003	0.07		

* HAP's : Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

** Otros Hidrocarburos encontrados y determinados únicamente de forma cualitativa por no contarse con los estándares para su respectiva cuantificación.

N.D: No Detectado.

N.M: No Medido

Cuadro No. 2

Resultados de las características fisicoquímicas obtenidos durante el primer muestreo efectuado en el mes de septiembre de 2001.

Puntos Muestreados	Conductimetría $\mu\text{S/cm}$	Sólidos Totales (ppm)	PH	Salinidad
Punto 1 Bajo el puente.	180	177	7.90	0.00
Punto 2 Antes del oleoducto.	183	175	8.07	0.00
Punto 3 Sobre el oleoducto.	182	171	7.90	0.00
Punto 4 Después del oleoducto.	187	168	8.85	0.00
Punto 5 Entrada al golfete.	186	160	7.50	0.00
Punto 6 Centro del golfete.	181	159	8.40	0.00
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	183	163	8.10	0.00
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	187	183	8.15	0.00
Punto 9 Salida del golfete.	188	179	7.95	0.00
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	186	180	7.88	0.00
\bar{X}	184	172	8.07	0.00

Cuadro No. 3

Resultados de nutrientes e hidrocarburos obtenidos durante el segundo muestreo efectuado en el mes de marzo de 2002.

Puntos Muestreados	N-NO ₃ (ppm)	N-NO ₂ (ppm)	P-PO ₄ (ppm)	*HAP's	**Otros Hidrocarburos encontrados
Punto 1 Bajo el puente.	1.33	0.005	0.05	N.D	Eicosano, Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, Tridecano, Hexadecano
Punto 2 Antes del oleoducto.	3.60	0.005	0.21	N.D	Ciclotetradecano, Octacosano, Nonadecano, Hexacosano, Tricosano
Punto 3 Sobre el oleoducto.	3.68	0.007	0.14	N.D	Ciclotetradecano, Octadecano, Pentadecano, Ciclohexadecano, 2- Octadeciloxietanol
Punto 4 Después del oleoducto.	3.70	0.007	0.16	N.D	Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, Octadecano, Penadecano, Alcohol estearílico
Punto 5 Entrada al golfete.	5.11	0.01	0.18	N.D	Octacosano, Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, Octadecano, Hexadecano.
Punto 6 Centro del golfete.	4.50	0.008	0.14	N.D	Hexadecano, 2- Octadeciloxietanol, Ciclohexadecano, Octadecano, Ciclotetradecano
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	3.91	0.007	0.13	N.D	Ciclohexadecano, 2- Octadeciloxietanol, Ciclotetradecano, Ionol, Nonadecano
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	4.15	0.009	0.19	N.D	Ciclohexadecano, Acido esteárico, Octadecano, Nonadecano, Triacantano
Punto 9 Salida del golfete.	3.75	0.008	0.17	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, Tridecano, Eicosano, Octacosano
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	3.85	0.006	0.16	N.D	Ciclotetradecano, Ionol, Triacantano, Octadecano, Pentadecano
\bar{X}	3.76	0.007	0.15		

* HAP's: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

** Otros Hidrocarburos encontrados y determinados únicamente de forma cualitativa por no contarse con los estándares para su respectiva cuantificación.

N.D: No Detectado.

N.M: No Medido

Cuadro No. 4

Resultados de las características fisicoquímicas obtenidos durante el segundo muestreo efectuado en el mes de marzo de 2002.

Puntos Muestreados	Conductimetría $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sólidos Totales (ppm)	PH	Salinidad
Punto 1 Bajo el puente.	41	96	7.85	0.00
Punto 2 Antes del oleoducto.	40	109	7.76	0.00
Punto 3 Sobre el oleoducto.	43	115	7.94	0.00
Punto 4 Despues del oleoducto.	37	123	7.70	0.00
Punto 5 Entrada al golfete.	42	89	7.40	0.00
Punto 6 Centro del golfete.	49	90	7.60	0.00
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	50	98	7.65	0.00
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	50	101	7.71	0.00
Punto 9 Salida del golfete.	53	99	7.84	0.00
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	51	104	7.80	0.00
\bar{X}	46	102	7.73	0.00

Cuadro No. 5

Resultados de nutrientes e hidrocarburos obtenidos durante el tercer muestreo efectuado en el mes de junio de 2002.

Puntos Muestreados	N-NO ₃ (ppm)	N-NO ₂ (ppm)	P-PO ₄ (ppm)	*HAP's	**Otros Hidrocarburos encontrados
Punto 1 Bajo el puente.	1.20	0.003	0.08	N.D	Policlorocanfeno, Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, Acido mirístico, Hexadecano
Punto 2 Antes del oleoducto.	1.40	0.004	0.08	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, Nonadecano, Octadecano, Triacontano
Punto 3 Sobre el oleoducto.	1.35	0.003	0.09	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, 2- Octadeciloxietanol Ionol, Eicosano
Punto 4 Después del oleoducto.	1.30	0.003	0.11	N.D	Ciclotetradecano, Eicosano, 2- Octadeciloxietanol, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano
Punto 5 Entrada al golfete.	1.40	0.005	0.11	N.D	Ciclohexadecano, Alcohol estearílico, Ciclotetradecano, Ionol, 2- oxadeciloxietanol
Punto 6 Centro del golfete.	1.18	0.004	0.10	N.D	Ciclotetradecano, Ciclohexadecano, 2- octadeciloxietanol, Alcohol estearílico, Hexacosano
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	0.95	0.003	0.06	N.D	2-Octadeciloxietanol
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	1.38	0.005	0.10	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, 2- Octadeciloxietanol, Alcohol estearílico
Punto 9 Salida del golfete.	1.15	0.004	0.08	N.D	Ciclotetradecano, Alcohol estearílico, Ciclohexadecano, Ionol, 2- Octadeciloxietanol
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	3.85	0.006	0.16	N.D	Ciclohexadecano, Ciclotetradecano, Acido mirístico, Policlorocanfeno, Alcohol estearílico
\bar{X}	1.23	0.004	0.09		

* HAP's : Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

** Otros Hidrocarburos encontrados y determinados únicamente de forma cualitativa por no contarse con los estándares para su respectiva cuantificación.

N.D: No Detectado.

N.M: No Medido

Cuadro No. 6

Resultados de las características fisicoquímicas obtenidos durante el tercer muestreo efectuado en el mes de junio de 2002.

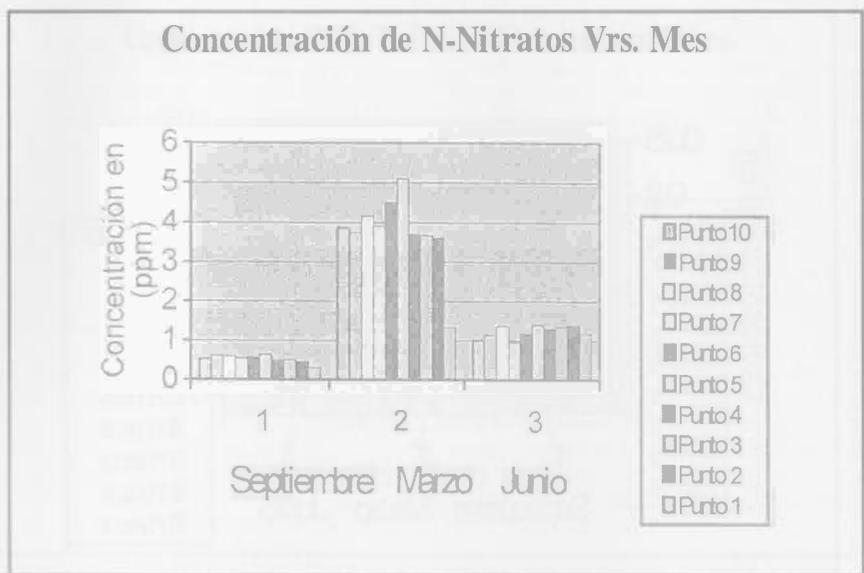
Puntos Muestreados	Conductimetría $\mu\text{S/cm}$	Sólidos Totales (ppm)	PH	Salinidad
Punto 1 Bajo el puente.	90	137	7.80	0.00
Punto 2 Antes del oleoducto.	88	133	7.81	0.00
Punto 3 Sobre el oleoducto.	85	130	7.85	0.00
Punto 4 Despues del oleoducto.	83	131	7.80	0.00
Punto 5 Entrada al golfete.	95	129	7.90	0.00
Punto 6 Centro del golfete.	86	116	7.50	0.00
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	88	125	7.60	0.00
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	84	128	7.75	0.00
Punto 9 Salida del golfete.	102	120	7.70	0.00
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	97	123	7.60	0.00
\bar{X}	90	127	7.73	0.00

El siguiente cuadro, muestra los promedios obtenidos en todos los puntos durante los tres muestreos, con respecto de los nutrientes y características fisicoquímicas. (ver anexos pág. 103).

Puntos Muestreados	N-NO ₃ (ppm)	N-NO ₂ (ppm)	P-PO ₄ (ppm)	Conductividad μ S/cm	Sólidos Totales (ppm)	PH	Salinidad
	X	X	X	X	X	X	X
Punto 1 Bajo el puente.	0.95	0.0030	0.05	104	137	7.85	0.00
Punto 2 Antes del oleoducto.	1.82	0.0033	0.13	104	139	7.88	0.00
Punto 3 Sobre el oleoducto.	1.85	0.0040	0.10	103	139	7.90	0.00
Punto 4 Después del oleoducto.	1.83	0.0040	0.12	102	141	8.12	0.00
Punto 5 Entrada al golfete.	2.39	0.0063	0.13	108	126	7.60	0.00
Punto 6 Centro del golfete.	2.08	0.0050	0.09	105	122	7.83	0.00
Punto 7 Orilla este del centro del golfete.	1.80	0.0040	0.08	107	129	7.78	0.00
Punto 8 Orilla oeste del centro del golfete.	2.04	0.0060	0.13	107	137	7.87	0.00
Punto 9 Salida del golfete.	1.84	0.0056	0.12	114	133	7.83	0.00
Punto 10 Cerca del muelle del Biotopo.	1.80	0.0046	0.11	111	136	7.76	0.00

Figura No.1

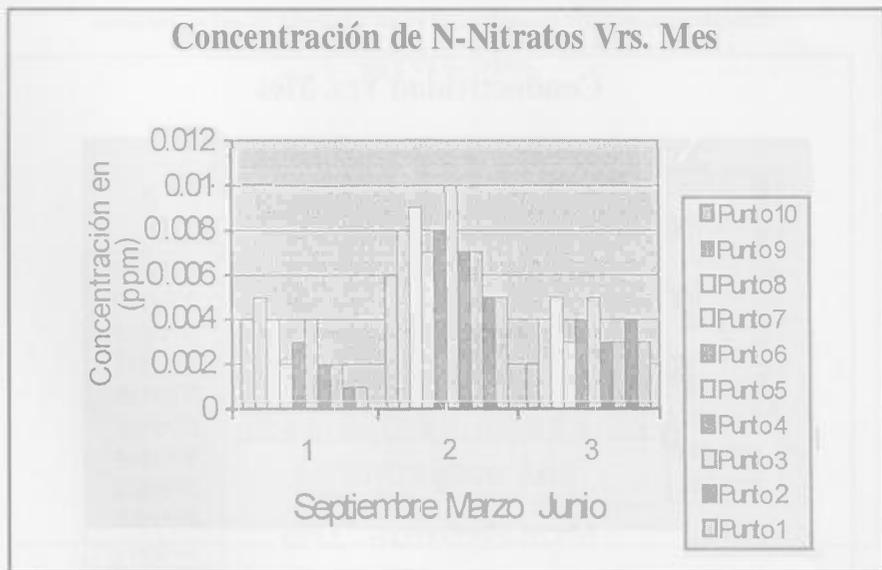
En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de las concentraciones de N-NO₃ en las diferentes épocas muestreadas.



Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

Figura No. 2

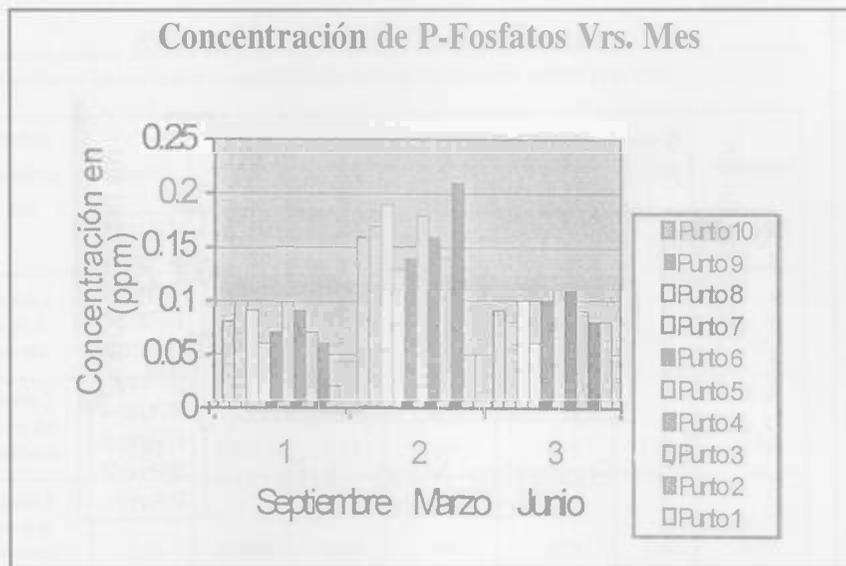
Comportamiento de las concentraciones de N-NO₃ en las diferentes épocas.



Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

Figura No. 3

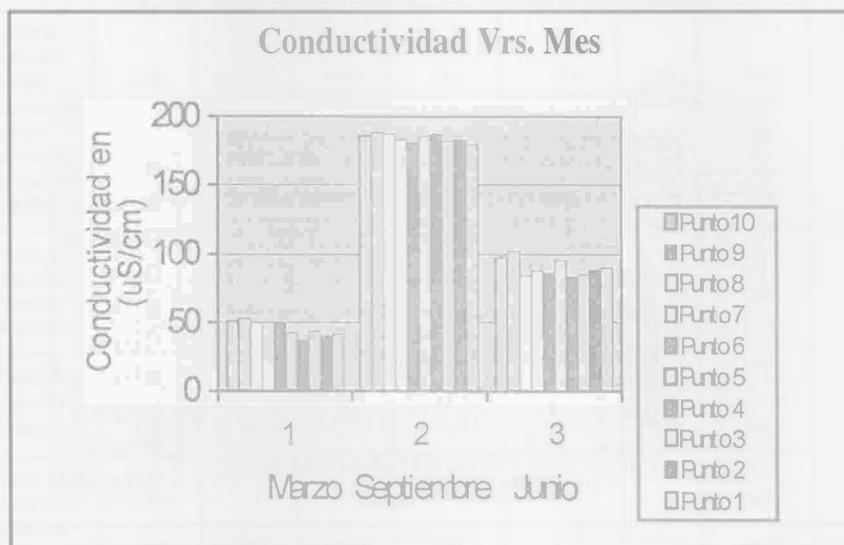
Comportamiento de las concentraciones de P-PO₄ en las diferentes épocas.



Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

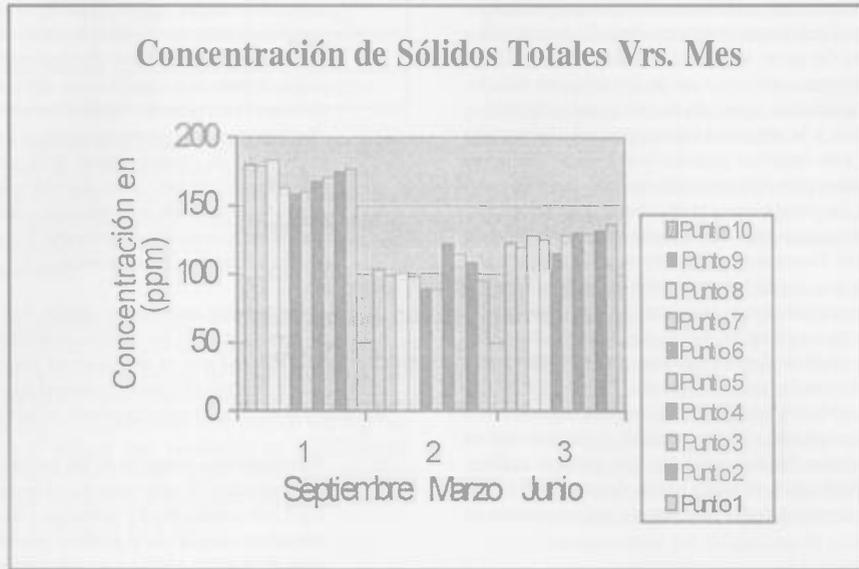
Figura No. 4

Comportamiento de la conductividad en las diferentes épocas muestreadas.



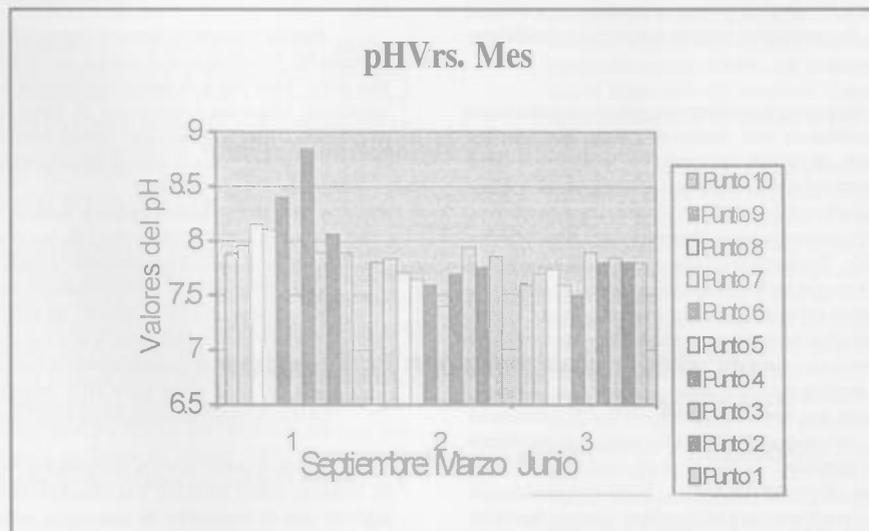
Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

Figura No. 5
 Comportamiento de la concentración de sólidos totales en las diferentes épocas.



Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

Figura No. 6
 Comportamiento de los valores de pH, en las diferentes épocas muestreadas.



Septiembre (2001)
 Marzo (2002)
 Junio (2002)

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los cuerpos de aguas naturales, como el Río Dulce y otros ríos dentro del Biotopo Chocón Machacas poseen características que pertenecen a las de un ecosistema abierto, por lo que mantienen una alta interacción e influencia con otras masas de agua, tanto dulce como salada. Estas interacciones determinan ciertas características de las áreas en estudio, tanto fisicoquímicas como nutrientes, variando de forma dependiente con la época (el clima, la estación y la actividad antropogénica). Es por ello que resulta difícil contar con criterios preestablecidos que permitan clasificar los niveles permitidos para determinados cuerpos de aguas naturales, sin tomar en cuenta las condiciones particulares que este posee. Ciertas normativas y organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUA/NOR) brindan algunos parámetros que, sin embargo, se limitan a algunos tipos y condiciones que poseen determinadas aguas, tales como: aguas superficiales templadas, aguas naturales, aguas potables, aguas residuales, entre otros. Sin embargo, lo que sí es posible determinar son ciertos valores que permiten evidenciar la existencia de procesos característicos del inicio de un estado de eutrofización o bien, evaluar el estado de autodepuración o amortiguamiento que cada ecosistema ha desarrollado y para el cual es necesario efectuar un monitoreo de forma regular, que permita analizar con cierta frecuencia o periodicidad, si existe algún desplazamiento del equilibrio trófico que ya no forme parte del ciclo natural del ecosistema en particular.

Nutrientes

Uno de los nutrientes analizados fue el nitrógeno, dada la importancia que representa su medición como parámetro indicativo en cuanto al estado trófico que presenta determinado cuerpo de agua. Para ello se efectuó la medición del nitrógeno de nitrato ($N-NO_3$) y el nitrógeno de nitrito ($N-NO_2$), ya que ambos juegan un papel fundamental dentro del ciclo del nitrógeno, y a su vez brindan los valores existentes de los mismos al momento del muestreo. Se obtuvieron valores que podrían clasificarse de la siguiente manera:

- a) **Nitrato y Nitrito:** Para tener una referencia más precisa en cuanto a la cantidad de nitrógeno más fácilmente asequible para los organismos acuáticos, se pueden interpretar inicialmente la suma de estos dos iones como un aproximado total de nitrógeno disponible para su ingreso directo en la cadena trófica (esto servirá para comparar los valores promedio y establecer relaciones entre punto y época muestreada). Puede evidenciarse en los resultados de los cuadros 1,3 y 5 la mayor proporción que presenta el nitrógeno proveniente del nitrato sobre el nitrógeno proveniente del nitrito, esto se debe a que la presencia en forma natural del nitrato, refiere una mayor abundancia que el nitrito, ya que el ion nitrato, es uno de los aniones más ampliamente distribuidos en la corteza terrestre, debido a que las sales que puede formar, el 99% son solubles en agua, además, por corresponder al máximo estado de oxidación del nitrógeno, su estabilidad en ausencia de biodegradación es exageradamente alta (Basterrechea, 1992). El nitrito es producido a partir de amoníaco por bacterias que lo oxidan como su fuente de energía y posteriormente las bacterias nitrificadoras oxidan al nitrito y forman nitrato, por lo que puede comprenderse entonces el por qué de la relación proporcional más alta que existe del nitrato sobre el nitrito (Villegas, 1992).
- b) **Nitrógeno y la época del muestreo:** La época en que se observó un incremento en las concentraciones de nitrógeno de nitrato más nitrógeno de nitrito $N-(N-NO_3 + N-NO_2)$ fue durante la época seca en el mes de marzo, seguida de la época que presentó lluvias parciales durante el mes de junio (ver figuras No. 1 y 2 de resultados), teniendo por consiguiente los valores promedios más bajos durante la época lluviosa, debido al incremento en el caudal del río, el cual provoca mayor dilución de los compuestos químicos disminuyendo las concentraciones de los nutrientes. Cuando existen corrientes de características más laminares y tranquilas, éstas permiten alcanzar una distribución más homogénea en las concentraciones de los nutrientes debido a que alcanzan mayor equilibrio, siendo ésta la razón por la cual se encontraron cantidades mayores durante la época seca.
- Debe tomarse también en cuenta, que al inicio del invierno suele ocurrir un incremento de los nutrientes debido a las escorrentías y niveles altos de solubilidad que se producen en los cuerpos de agua natural, sin embargo esto decrece rápidamente con el transcurso del invierno, cuando el caudal y dinámica del agua (producto de las lluvias) se ven incrementados.
- c) **Nitrógeno con respecto de los puntos muestreados y cantidades encontradas:** El valor más alto se encontró en el punto de muestreo No.5 (ver cuadro No. 3 y mapa No. 1 de anexos), el cual se encuentra ubicado en la entrada al golfete, presenta un valor máximo de 5.12 ppm de $N-(NO_3+NO_2)$ y un valor promedio (de los tres muestreos efectuados en el mismo punto) de 2.39 ppm de $N-(NO_3+NO_2)$, mientras que el valor más bajo lo presentó el punto de muestreo No.1 (ver cuadro No.1 y mapa No. 1 de anexos), ubicado de bajo del puente que atraviesa el Río Dulce, con un valor de 0.311 ppm de $N-(NO_3+NO_2)$ y un valor promedio (de los tres muestreos efectuados en el mismo punto, ver cuadro No. 7) de 0.95 ppm de $N-(NO_3+NO_2)$.
- Resulta importante destacar algunas de las características que posee el punto No.5 (siendo este el que presentó el valor individual y promedio más alto). Muy cerca de este punto existen zonas con selva perennifolia inundable, pequeñas extensiones de humedal y áreas con pastos para ganadería. Posee la cuenca con drenaje cercana del Río Cienaga y el tipo de erosión que se da en el área es de característica laminar.
- d) **Condiciones encontradas y valores de referencia:** Los valores obtenidos de $N-(NO_3+NO_2)$ de los distintos puntos y durante las diferentes épocas muestreadas [siendo el mayor de ellos 5.12 ppm de $N-(NO_3+NO_2)$] no representan concentraciones que puedan encontrarse dentro de niveles de riesgo o situación alarmante en cuanto a la salud humana, si se toma en cuenta que algunos valores permitidos para aguas potables se encuentran entre 4000 ppm para NO_3 y 1.00 ppm para NO_2 según la OMS, mientras que COGUANOR establece 45.00 ppm, de $N-NO_3$ para aguas potables.
- Desde el punto de vista limnológico, Vollenweider (1968) (tomado de Roldán, 1992) presenta una clasificación de los lagos europeos de acuerdo con el contenido de amoníaco, nitratos y nitritos con valores correspondientes a zonas templadas, los cuales podrían aplicarse también a zonas tropicales tomándolos como un punto de partida, además, ya que el Río Dulce cuenta en su centro con un golfete (que para algunos posee características de lago) podría también utilizarse como un criterio de referencia. La tabla es la siguiente:

Cuadro No. 8

Tipo de Lago	Amoniaco mg/l	Nitratos mg/l	Nitritos 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

Con base en la tabla anterior, si se toma en cuenta que el promedio total de N ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) para las distintas épocas analizadas fue de 1.84 mg/l, puede decirse que el Río Dulce se encuentra dentro de la característica mesotrófica, sin embargo durante el mes de septiembre en el cual presentó una concentración promedio de 0.533 (ver cuadros No. 1 y 7) se encontraba dentro de la categoría oligotrófica.

Vollenweider (1968) (tomado de Wetzel, 1975) elaboró otra tabla, en la que a diferencia de la anterior, establece una clasificación la cual se basa en los "niveles generales de productividad de los lagos", tomando como criterio la concentración de nitrógeno tanto orgánico como inorgánico, estableciendo que un lago con concentraciones mayores de 1.2 mg/l es hipereutrófico, por lo que al utilizar este parámetro de clasificación denominado "nivel general de productividad" el Río Dulce se encuentra dentro de la categoría de hipereutrófico por presentar una concentración total promedio de N- ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) de 1.84 mg/l.

Al aplicar comparativamente el valor límite propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para aguas superficiales templadas, (la cual lo establece en 1.00 mg/l) contra el valor promedio total: 1.84 mg/l de N- ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) (tomando las distintas épocas analizadas) puede observarse como éste es mayor que el valor propuesto, no obstante la concentración promedio presentada para el mes de septiembre 0.533 mg/l, se encuentra dentro del límite propuesto por la OMS para aguas superficiales templadas.

Por último, Wetzel determina que los niveles para N- NO_2 en aguas naturales de lagos, son generalmente muy bajos y se encuentran en el rango de los 0.00 a 0.01 mg/l y las concentraciones de N- NO_3 se encuentran en el rango de los 0.0 a 10.0 mg/l para aguas libres de contaminación, con lo cual al observar las concentraciones obtenidas en el Río Dulce (ver cuadro No.7) y valor promedio total de N- ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) = 1.84 mg/l, estas se encuentran bajas al compararlas con los criterios propuestos por Wetzel.

Puede inferirse entonces que para las concentraciones medidas, el cuerpo de agua todavía es capaz de amortiguar las descargas que recibe de las fuentes tanto de origen natural como las fuentes de origen antropogénico (puntuales y no puntuales). Esto basado en que al aplicar muchos de los criterios descritos anteriormente, los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites permitidos y en algunos casos por encima de los mismos. Sin embargo lo que es muy importante controlar son los niveles de nitrógeno de forma regular, y especialmente el N- NO_3 ya que debe considerarse que las plantas requieren nitrógeno en forma de nitrato (NO_3) ó amoníaco, (NH_3), ya que estos constituyen los nutrientes estructurales y biosintéticos de la misma.

Otro nutriente determinado fue el fósforo de ortofosfatos (P- PO_4), cuya importancia radica (a diferencia del nitrógeno que es un nutriente estructural) en que este constituye el nutriente energético que bajo determinadas condiciones puede iniciar la dinámica del proceso de eutrofización.

La aportación natural de fosfatos a los cuerpos de agua es relativamente baja, las cantidades involucradas serían mínimas de no ser por la presencia de minerales de fósforo como la apatita y fosforita, el guano (estiércol de las aves marinas), o bien la aportación de los peces y moluscos que actúan como concentradores del mismo.

Desde el punto de vista limnológico la forma más importante del fósforo es la del ortofosfato, pues es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo.

Los análisis efectuados para este nutriente, aportaron los valores detallados en los cuadros 1, 3, 5 y 7 (sección de resultados) los cuáles podrían clasificarse de la siguiente manera:

- a) **Fósforo y época de muestreo:** La época que mostró la mayor cantidad en cuanto a la concentración de fósforo de ortofosfatos (P- PO_4) fue la época seca durante el mes de marzo tanto en el valor promedio de todos los puntos (0.15 ppm), como también el punto con mayor concentración (punto No.2 con 0.21 ppm), mientras que el valor promedio más bajo (0.07 ppm) se obtuvo durante la época lluviosa en el mes de septiembre. Al igual que para el nitrógeno, los valores más bajos de las concentraciones pueden atribuirse a la dilución que provocan las lluvias sobre las especies químicas, beneficiada por los comportamientos turbulentos que manifiestan las corrientes del río durante la precipitación pluvial. En ambas especies químicas (nitrógeno y fósforo) el comportamiento en las concentraciones durante la época seca, registra un incremento, debido al equilibrio que se establece en la distribución de estos compuestos, producto de las aguas menos agitadas que fluyen por las distintas cuencas, favoreciendo la disponibilidad de los nutrientes en una forma más asequible. Nuevamente debe tomarse en cuenta, el incremento en la concentración de los nutrientes que suele ocurrir al inicio del invierno. Este incremento es producto de las escorrentías y niveles altos de solubilidad que se producen en los cuerpos de agua natural, así como en las áreas que poseen selvas perennifolias inundables, sin embargo este decrece rápidamente con el transcurso del invierno, cuando el caudal y dinámica del agua, producto de las lluvias, se ven incrementados.
- b) **Fósforo con respecto de los puntos muestreados y cantidades encontradas:** El valor más alto lo presentó el punto de muestreo No.2 (ver cuadro No. 3 y mapa No. 1 de anexos), el cual se encuentra ubicado antes del oleoducto, con un valor máximo de 0.21 ppm de P- PO_4 , mientras que el punto promediado con valor más alto (de los tres muestreos efectuados en el mismo punto) lo presentó el punto No. 5 (ver cuadro No.7), ubicado en la entrada al golfete, con una concentración de 0.13 ppm de P- PO_4 . El valor más bajo lo presentó el punto de muestreo No.1 (ver cuadro No.1), ubicado debajo del puente que atraviesa el Río Dulce, con un valor de 0.02 ppm de P- PO_4 , este punto, presentó también el valor promedio más bajo (de los tres muestreos efectuados en el mismo punto), con una concentración de 0.05 ppm de P- PO_4 (ver cuadro No.7). Puede observarse entonces, como los puntos con valores promedio más altos (punto 5) y más bajos (punto 1) tanto para nitrógeno como para fósforo son los mismos, con lo cual puede establecerse una relación en cuanto a la influencia que tienen las descargas o tributarios, tanto naturales como antropogénicos sobre ambos nutrientes.

Es importante destacar las descripciones y características que

presentan los lugares en los cuales se encontró el nivel promedio más alto, siendo el punto No. 5 un lugar en cuyas orillas convergen tanto zonas de uso intensivo como zonas de recuperación, muy cerca de este sitio, existen zonas con selva perennifolia inundable, pequeñas extensiones de humedal y áreas con pastos para ganadería. Posee la cuenca con drenaje cercana del río Ciénaga. El tipo de erosión que predomina en el lugar es la laminar.

Por otro lado se debe considerar la influencia que tienen sobre la cuenca del Río Dulce, las 29 comunidades existentes, con aproximadamente 7,523 habitantes. También la existente invasión de terrenos en la zona oeste del río.

Un hecho importante que ocurrió durante los muestreos efectuados en las distintas épocas, cerca del punto de muestreo No. 5 fue el comienzo de la formación de una mancha de regular extensión de la planta *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle. Esta planta debe tomarse con mucha consideración e importancia, ya que en un proceso inicial de eutrofización, una de las principales consecuencias ecológicas radica en la proliferación excesiva de algas y macrofitas, las cuales exceden la capacidad de herbivoría de los invertebrados y los peces. Al morir el exceso de algas y plantas se depositan en el fondo, acumulando materia orgánica y afectando la concentración de oxígeno, provocando una colmatación progresiva hasta hacer desaparecer el ecosistema (Roldán, 1992).

c) **Condiciones encontradas y valores de referencia:** Al igual que para el nitrógeno, puede decirse que los valores obtenidos de $P-PO_4$ de los distintos puntos y durante las diferentes épocas muestreadas (tomando en cuenta que el mayor de ellos fue de 0.21 ppm de $P-PO_4$) no representan valores que puedan encontrarse dentro de niveles de riesgo tóxico para la manipulación y utilización humana (adecuada), si se toma en cuenta que el valor permitido para agua potable es de 5.000 ppm, (OMS) de $P-PO_4$, la salud humana no corre mayor riesgo.

Ahora bien, desde el punto de vista limnológico, Roldán (1992) establece que los lagos tropicales presentan valores promedio para ortofosfatos que varían entre 0.001 y 0.002 mg/l y algunos lagos que presentan cifras superiores a estos valores se debe a que son ecosistemas muy intervenidos por el hombre o muy eutroficados. Si se toma en consideración que el Río Dulce posee un golfete, (que para algunos es considerado como un cuerpo de agua con características de lago) y cuyo nivel promedio de ortofosfatos en el área fue de 0.103 mg/l, siendo el promedio más alto en el mes de marzo (0.15 mg/l) y el más bajo en el mes de septiembre (0.07 mg/l), puede decirse que el nivel de fosfatos en el cuerpo de agua del Río Dulce, se encuentra alto. Aunado a lo anterior, es importante tomar en cuenta la clasificación con base a la concentración de fósforo en el agua de los lagos, que establece Vollenweider (1968) (tomado de Wetzel, 1975 y Roldán, 1992) quien propone la siguiente tabla:

Cuadro No. 9

Nivel General de la Productividad de los Lagos.	Fósforo Total (mg/l)
Ultraoligotrófico	<0.05
Oligomesotrófico	0.005 - 0.01
Mesoeutrófico	0.01 - 0.03
Eutrófico/Eupolitrotrófico	0.03 - 0.1
Hipereutrófico/Politrófico	> 0.1

Utilizando estos criterios, el agua del Río Dulce y las orillas del Biotópo Chocón Machacas, se encuentran clasificadas como hipereutróficas o politróficas, ya que poseen un valor promedio de ortofosfatos para todo el cuerpo de agua de 0.103 mg/l siendo el promedio más alto en el mes de marzo (0.15 mg/l) y el más bajo en el mes de septiembre (0.07 mg/l) a este último le corresponde la clasificación de eutrófico o eupolitrotrófico. Tomar en cuenta que se trata de fósforo total y que es aplicado a lagos dentro de la clasificación de "niveles de productividad".

Al comparar los valores de fósforo obtenidos con los valores límite propuestos por la OMS para aguas naturales templadas (las cuales deben encontrarse dentro del rango de 0.01 - 0.07 mg/l) estos se encuentran nuevamente por encima de los valores considerados como límite, ya que el valor promedio de ortofosfatos obtenido para todo el cuerpo de agua es de 0.103 mg/l, teniendo el promedio más alto en el mes de marzo (0.15 mg/l) y el más bajo en el mes de septiembre (0.07 mg/l) siendo este último, el único que se encuentra dentro del valor límite.

Al relacionar los valores anteriores con el valor promedio obtenido de pH (para el agua del Río Dulce y orillas del Biotópo Chocón Machacas) el cual fue de 7.84 siendo este ligeramente básico, puede explicarse en parte el por qué de las concentraciones altas de fósforo ya que debe considerarse que el pH básico aumenta la disponibilidad de los fosfatos en el agua como PO_4^{3-} , por lo cual, los lagos de pH básico son más productivos que los ácidos (Roldán, 1992).

Por otro lado, se sabe que los niveles para la concentración de fósforo varían por diversos factores, entre estos se encuentran; a) la estructura geoquímica de la región: los niveles de fósforo generalmente son bajos en regiones montañosas de geomorfología cristalina y se incrementan en las tierras bajas (como la región de Izabal), cuyas aguas derivan de depósitos rocosos sedimentarios, b) los lagos ricos en materia orgánica; tales como lagos pantanosos o bien pantanos, tienden a presentar altas concentraciones de fósforo, c) algunas áreas sedimentarias costeras son ricas en rocas fosfóricas, d) existen también lagos que poseen drenajes con depósitos que tienen altos niveles de fósforo (Wetzel, 1975).

Puede inferirse entonces que: La concentración de fósforo se encuentra por encima de muchos de los criterios propuestos como límite para aguas naturales templadas, de manera que sí existe cierta incidencia en la descarga de fuentes de origen natural con materia orgánica, como también las fuentes puntuales y no puntuales de origen antropogénico. Debe entonces monitorearse el nivel de su concentración de forma regular y sistemática con el fin de establecer una relación mediante mediciones constantes, sobre los ciclos tróficos y biológicos que esté llevando a cabo y determinar de esta manera, si el mismo puede ser amortiguado o no por el cuerpo de agua.

Con base a lo anterior debe tomarse muy en cuenta el efectuar estudios permanentes en el área, por el apareamiento y expansión de la planta acuática *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle, durante los últimos meses.

Características Fisicoquímicas:

Una de las características físicas evaluadas la constituyó la medición de los sólidos totales, los mismos están integrados por la sumatoria de los sólidos totales disueltos+ sólidos totales en suspensión. Esta característica se encuentra relacionada con la conductividad eléctrica (parámetro que también se determino) y ayuda a comprender la cantidad de partículas

sólidas que transporta el cuerpo de agua, el cuál, según las concentraciones que presentó no es apto para el consumo humano sin efectuar un tratamiento previo.

Al revisar los cuadros 2, 4 y 6 de la sección de resultados, puede observarse como el mes de septiembre (época lluviosa) presentó el valor promedio más alto con una concentración de 172 ppm, seguido del mes de junio con una concentración promedio de 127 ppm y finalizando con el mes de marzo (época seca) con una concentración de 102 ppm. Puede observarse como el Río Dulce durante la época de lluvias, alcanza su máximo nivel de arrastre de partículas sólidas, incluyendo a las solubles como a las insolubles (las partículas insolubles representan la mayor concentración en comparación con las solubles). La precipitación pluvial origina agitación, escorrentía, y descargas por parte de los tributarios, a lo largo de toda la cuenca, tendiendo a depositarse de forma dispersa durante los tiempos de canícula y época seca. La variación entre los distintos puntos fue mínima cuando las comparaciones se efectuaron durante la misma época.

Conductividad, este parámetro resulta ser una medida indirecta de los sólidos disueltos de un cuerpo de agua, aunque en realidad es una expresión numérica que indica la capacidad de este cuerpo de agua para transportar una corriente eléctrica. Se debe tener claro que los valores de conductividad de un punto muestreado, van a depender del tipo de especies químicas presentes así como de su concentración, por lo tanto pueden variar mucho de unos a otros.

Al observar los cuadros 2, 4 y 6 de la sección de resultados, pueden ubicarse los valores correspondientes a conductimetría expresados en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo evidente como el mes de septiembre (época lluviosa) presenta los valores promedio más altos con relación a las demás épocas, obteniendo una conductividad promedio de 184 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido del mes de junio (semi lluvioso) con un valor promedio de 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y finalmente el mes de marzo (época seca), con la conductividad promedio más baja, con un valor de 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El punto que presentó la conductividad más alta fue el punto No. 9 (ver mapa No. 1 de anexos) ubicado en la salida del golfete, con un valor de 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y muestreado también en el mes de marzo.

Tomando en consideración los valores anteriores y teniendo en cuenta que un agua natural limpia y de mineralización media, puede presentar valores entre 500 - 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y las aguas residuales pueden llegar a valores entre los 3000 - 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o incluso valores superiores, el agua del Río Dulce, presenta valores aceptables de conductividad (a pesar de que cuenta con bastante influencia e incluso interacción con agua proveniente del mar). Un aumento excesivo del contenido en sales como consecuencia de un aporte contaminante en un sistema receptor, trae consecuencias nefastas, sobre todo para los organismos vivos de pequeño tamaño que precisan mantenerse dentro de unos rangos de salinidad determinados, para poder mantener el equilibrio de nutrientes y presión a través de sus membranas.

Los valores anteriores también son justificables si se toma en cuenta la ausencia de concentraciones detectables de salinidad en los distintos puntos, ya que durante los tres muestreos efectuados, los valores de su concentración fueron menores al límite de detección de los aparatos utilizados, el cuál es de 0.1 g/kg de muestra.

Un incremento en la salinidad de los ríos y lagos, disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua. A 0°C el agua dulce contiene

aproximadamente 2.8 mg/l de oxígeno más que el agua de mar. A 15°C, la diferencia es de 2.1 mg/l aproximadamente. Este aspecto es muy importante tenerlo en cuenta cuando se trabaja en lagos con salinidades superiores a las del mar, pues allí los problemas de adaptación de los organismos ya no son sólo de déficit de oxígeno sino también de osmorregulación (Roldán, 1992).

Potencial de hidrógeno (pH); En los ecosistemas acuáticos existe para cada uno de ellos una franja específica de intervalo de pH dentro de la cual la vida se desarrolla con normalidad.

Al observar los cuadros 2, 4 y 6 de la sección de resultados, en la columna de pH, pueden apreciarse como los valores de éste en las distintas épocas del año presentaron ligeras variaciones, obteniendo el valor promedio más alto en el mes de septiembre (época lluviosa) con 8.07 (ver cuadro No.7), mientras que los meses de junio y marzo presentaron los mismos valores promedio, ambos de 7.73 (ver figura No.7). El punto que presentó el valor promedio más alto fue el No. 4 (ver mapa No. 1 de anexos), ubicado después del oleoducto con un valor de 8.12 (ver cuadro No.7), mientras que el punto con valor promedio más bajo, fue el No. 5 (ver mapa No. 1 de anexos), con un valor de 7.6 (ver cuadro No.7).

Con los resultados anteriores puede decirse que los niveles de pH del Río Dulce y el Biotopo Chocón Machacas se encuentran dentro de niveles y criterios aceptables, tomando en cuenta que los valores de pH habituales en los cauces naturales pueden ser muy variables, pero suelen estar comprendidos entre 6 y 8.5 ó incluso hasta 9 en algunos casos, dependiendo de las características de dureza y alcalinidad de las aguas naturales. Como puede observarse en los valores promedio anteriores, tanto el mas alto (8.07) como el mas bajo (7.6), presentan una ligera tendencia de alcalinidad, ya que el área posee suelo de tipo kárstico. Un pH básico es más productivo que el ácido debido a la disponibilidad de los fosfatos en el agua. Pese a lo anterior los valores están lejos de acercarse a niveles extremos (por debajo de 5.5 o por encima de 9.5) que puedan dañar seriamente el cuerpo de agua. No obstante es necesario efectuar constantemente comparaciones de este parámetro en distintos tramos de los cauces, ya que si en determinado momento resultan afectados, estas mediciones revelaran información acerca de si se ha producido o no la descarga de un vertido constante de pH extremo o bien si se están dando procesos que conlleven cambios en el pH natural del medio, así como la capacidad de autodepuración del mismo.

Hidrocarburos:

Otra de las variables evaluadas para determinar la calidad de las reservas naturales, fue la correspondiente a los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)**, cuya importancia radica en que son bastante ubicuos y se encuentran prácticamente en todos los medios de la biosfera, además poseen una toxicidad bastante alta, siendo su principal característica la acción carcinógena que pueden desarrollar en el humano.

Como puede observarse en los cuadros 1, 3 y 5, (sección de resultados), no se encontraron hidrocarburos aromáticos policíclicos en ninguno de los puntos y épocas muestreadas. Los análisis se efectuaron por cromatografía de gases, la cuál tiene la sensibilidad necesaria para su detección.

Lo anterior indica la ausencia de este tipo de contaminantes a lo largo del cuerpo de agua muestreado, en concentraciones detectables, por lo que no existen descargas directas o indirectas considerables que, durante el tiempo en que se efectuó la toma de muestras de agua hayan podido

presentar alguno de estos tipos de contaminante. Muchas de las fuentes que proporcionan este tipo de contaminación son los productos de combustibles crudos, alquitranes de hulla, hollín, tierras bituminosas (ricas en carbono, hidrógeno, entre otros combustibles), materia orgánica y procesos de pirólisis en las combustiones incompletas de hidrocarburos.

Los HAP's son compuestos más pesados, más estables y de degradación más lenta que otros hidrocarburos más comunes, por lo que es recomendable buscarlos en los sedimentos, debido a su tendencia a adsorberse en el material particulado.

Como lo muestran también los cuadros 1, 3 y 5 (sección de resultados) en los cuales aparece la columna de "otros hidrocarburos encontrados" (ver figura No. 8 de anexos), se refiere a los hidrocarburos que no estaban contemplados en el estudio efectuado, teniendo entre ellos como los más comunes los siguientes: Ciclotetradecano, ciclohexadecano, octadecano, hexadecano, pentadecano, nonadecano, triacontano, entre otros; estos hidrocarburos fueron determinados únicamente de forma cualitativa por no contarse con los estándares necesarios para su cuantificación. La mayoría de los puntos presentaron similitud en cuanto a cantidad y tipo de compuestos, sin embargo hubo un punto que presentó niveles muy bajos en comparación con los demás, este fue el punto No. 7 (ver mapa No. 1 de anexos) el cual se encuentra ubicado en la orilla este de la parte central del golfete y presentó un promedio de tres hidrocarburos, mientras que en los demás sitios se superaban los cinco (ver descripción del punto en pág. 50).

El Río Dulce posee elevada circulación de vehículos acuáticos, cuenta con gasolineras dentro de la playa, posee un oleoducto que lo atraviesa y cercano a su cuenca existe un depósito de combustible, factores que en determinadas circunstancias pueden influir en un incremento en los niveles de los hidrocarburos encontrados.

9. CONCLUSIONES

- * La situación actual de la calidad del agua que posee el Parque Nacional Río Dulce y Biotopo Chocón Machacas en lo referente a nutrientes, hidrocarburos aromáticos policíclicos y propiedades físicoquímicas, se encuentra dentro de los criterios y límites aceptados para aguas naturales superficiales templadas. Sin embargo el fósforo fue el único parámetro de los determinados que presentó valores por encima de los criterios aceptados como límite en la literatura.
- * Debido a que los niveles generales de fósforo se encontraron altos, se debe establecer un sistema de monitoreo constante en el área, para determinar la capacidad amortiguadora del cuerpo de agua, así como los factores que estén causando incidencia en las fuentes de descarga, tanto naturales como antropogénicas.
- * La época que presentó las concentraciones promedio más altas de nutrientes (N y P), fue la época seca (mes de marzo) mientras que los valores promedio más bajos se obtuvieron durante la época lluviosa (mes de septiembre). La variación de las concentraciones en ambas épocas se debe directamente a la influencia que ejerce la lluvia sobre la cuenca, la cual afecta drásticamente el tipo de fluido (volviéndolo mayoritariamente de características turbulentas durante la época de invierno), incrementando la dilución de las especies químicas y disminuyendo las concentraciones asequibles de los nutrientes. También afecta la estructura geoquímica de la región.

- * La acción que ejerce la lluvia es drástica, incrementando la cantidad de nutrientes con las primeras lluvias debido a la escorrentía y niveles altos de solubilidad que se producen en los cuerpos de agua natural, sin embargo este decrece rápidamente con el transcurso del invierno, cuando el caudal y dinámica del agua se ven incrementados.
- * Los niveles en la concentración de nutrientes alcanzaron sus valores máximos durante la época seca (mes de marzo) debido a que el caudal del agua disminuye. De esta manera, las cuencas de los ríos presentan una distribución homogénea producto de corrientes tranquilas, ya que al existir un fluido con características más laminares, éste permite alcanzar un equilibrio en la concentración y distribución de los nutrientes.
- * El punto muestreado que presentó la mayor concentración promedio (2.4 mg/l) de nitrógeno - (nitrito+nitrato) fue el No. 5, ubicado en la entrada del golfete, navegando de sur a norte. (ver mapa en anexos pág. 102). Cercano a este punto existen zonas de selva perennifolia inundable y zonas con pastos.
- * Los valores promedio más altos de fósforo (P-PO₄) lo presentaron los puntos: 2, 5 y 8 (todos con 0.13 mg/l), los primeros dos se encuentran ubicados en el área de mayor zona poblada (ver mapa en anexos), además existen tierras con pastos cultivados, el punto No. 8 se encuentra ubicado en la orilla oeste del golfete. Los tres puntos poseen algunas zonas con pastos para ganadería.
- * No fueron detectados Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos dentro de la cuenca del Río Dulce, habiendo utilizado para su determinación el método analítico que ofrecía la mayor sensibilidad (Cromatografía de Gases).
- * Fueron encontrados otros hidrocarburos que no estaban contemplados en el estudio, los cuáles se determinaron de forma cualitativa por no contarse con los estándares necesarios para su cuantificación. Algunos de los más recurrentes fueron: ciclotetradecano, ciclohexadecano, pentadecano, hexadecano, octadecano, nonadecano, entre otros.
- * Los valores de las propiedades físicoquímicas determinadas, se encuentran dentro de los criterios límites permitidos para cuerpos de aguas templadas naturales, presentando la conductividad y los sólidos totales sus valores más altos durante el mes de septiembre (época lluviosa) y más bajos durante el mes de marzo (época seca), debido a la influencia que ejerce la lluvia en el arrastre de materia sólida.
- * El valor promedio de pH en el área fue de 7.84, el cual es ligeramente básico debido en gran parte a las características geológicas del suelo (kársticas), sin embargo se encuentra dentro de los límites permitidos para aguas templadas naturales en los cuáles la vida se desarrolla con normalidad.
- * La salinidad que siempre se registró en el área, fue menor al límite de detección de 0.1 g/kg de muestra, utilizando para su determinación dos aparatos portátiles distintos.

10. RECOMENDACIONES

- * Evaluar constantemente la calidad del agua de la cuenca del Río Dulce, para poder determinar la capacidad de amortiguamiento que éste posee con respecto de las descargas que recibe, tanto naturales como antropogénicas.
- * Incluir dentro del equipo de viaje, aparato que mida la posición global -GPS- y mapas.
- * Efectuar los muestreos preferiblemente por la mañana, con el fin de evitar las aguas agitadas e intranquilas que se forman por la tarde.
- * Determinar la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) en los sedimentos.
- * Durante el procedimiento para analizar hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), después de haber eluido la muestra contenida en los 2 ml de la solución tolueno : metanol de los tubos de extracción, proceder a evaporarlos hasta sequedad (sin aplicar calor), y reconstituirlos con 100 (l de mezcla de solventes con el fin de poder obtener una muestra más concentrada.
- * Determinar cuantitativamente los hidrocarburos encontrados de forma cualitativa (los cuales no estaban contemplados en este estudio), utilizando para ello los estándares correspondientes.
- * Durante el procedimiento para analizar nitrógeno, verificar constantemente si la columna de reducción con cadmio aún se encuentra activada, haciendo pasar por ella un estándar conocido, verificarla después de cada 10 muestras.

11. REFERENCIAS

1. ADAMS, V.D. 1990. Water & wastewater, examination manual. United States of America, Lewis Publishers, INC.
2. ADAMSON, A.W. 1982. Physical chemistry of surfaces. 4 ed. United States of America, John Wiley & Sons, Inc.
3. BAKER, J. s.f. Contaminación del agua.
<http://www.jtbaker.com/techlib/documents/pcb-aqua.html>
4. BARRIOS, R. 1995. 50 Áreas de interés especial para la conservación en Guatemala. Estados Unidos de Norte América, Centro de Datos para la Conservación del Centro de Estudios Conservacionistas. Producido por el Centro de Datos Para la Conservación (CDC) del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON); con la colaboración de The Nature Conservancy (TNC).
5. BASTERRECHEA, M. 1992. Calidad del agua del lago de Izabal y principales tributarios. Informe técnico final, fase 1. Guatemala, Convenio DGEN-SEBV.
6. BJORSETH, A. 1983. Handbook of polycyclic aromatic hydrocarbons. United States of America, Marcel Dekker, Inc.
7. CASTRO, F.; SECAIRA, F. 1999. Conociendo el Sistema Guatemalteco de Areas Protegidas -SIGAP-, estrategia nacional para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, CON AMA, GEF-PNUD. Guatemala, producido por Estrategia Nacional de Biodiversidad - ENB -.
8. CHAPMAN, H.D.; PRATT, P.F. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas, Centro Regional de Ayuda Técnica (Agencia para el desarrollo Internacional A.I.D). México-Buenos Aires, Trillas México.
9. DREISBACH, R.H. 1989. Manual de toxicología clínica, (prevención, diagnóstico y tratamiento). 5 ed. México, D.F., El Manual Moderno, S.A. de C.V.
10. GARCÍA, A. et al. 1998. Análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos por cromatografía de gases.
<http://www.uanl.mx/publicaciones/ciencia-uanl/vol4/4/pdfs/etanalitico.pdf>
11. GREENBERG, A.E; APHA, C.; LENORE, SC.; WEE, E; ANDREW, D. EATON, A. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. Washington, D.C, United States of America, Joint Editorial Board. Tomo I.
12. GROB, R.L. 1995. Modern practice of gas chromatography. 3 ed. United States of America, Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, INC.
13. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1997. Mapa de erosión del Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
14. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1997. Mapa del catastro preliminar, densidad poblacional y de arrendamientos en el Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
15. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1997. Mapa sobre el uso de la tierra y cobertura vegetal del Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
16. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1991. Mapa de zonificación del Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
17. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1997. Mapa de cuencas con drenaje en el Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
18. GUATEMALA. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA)- COMISION NACIONAL DE AREAS

- PROTEGIDAS (CONAP)-UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA (UVG). 1997. Mapa de pendientes, del Parque Nacional Río Dulce. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
19. GUATEMALA. Convenio USAC-INGUAT. 1981. Plan maestro del biotopo para la conservación del manatí, Chocón Machacas.
20. GUATEMALA. ESTRATEGIA NACIONAL DE BIODIVERSIDAD (ENB). 1999. Estrategia nacional para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad y plan de acción Guatemala CONAMA, GEF-PNUD.
21. GUATEMALA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION. 2003. <http://www.maga.gob.gt>
22. HIDALGO QUAN, E.L. 1982. PREVALENCIA DE INTOXICACION POR PLOMO EN PESCADORES DE LA REGION DEL LAGO DE IZABAL Tesis Lic. Biol. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
23. KEIT, L.H. 1996. Principles of environmental sampling, ACS Professional Reference Book. 2 ed. Washington, D.C, United States of America, American Chemical Society.
24. LADRON DE GUEVARA, J.; MOYAPUEYO, V. 1995. Toxicología médica clínica y laboral. España, Interamericana McGraw-Hill.
25. MANAHAN, S.E. 1994. Environmental chemistry of surfaces. United States of America, Lewis Publishers. CRC Press, Inc.
26. MARTÍNEZ, E. 1999. Nitrógeno en agua. Cuba. <http://www.nitra99.sld.cu/text/nitratoagu.htm>
27. Nebel B.J.; WRIGTH, R.T. 1999. Ciencias ambientales ecología y desarrollo sostenible. 6 ed. México, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Addison Wesley Longman Pearson.
28. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). 1995. Guías para la calidad del agua potable. 2 ed. Washington DC, Estados Unidos de América.
29. PLATERO R. 1999. Características físico-químicas de las aguas naturales. <http://www.platero.eup.us.es/investigacion/grupotar/trabtech/realjara/fisicoquimico.htm>
30. QUINTANA RIZZO, E. 1993. Estimación de la distribución y el tamaño poblacional del manatí (*Trichechus manatus*) (*Trichechidae-sirenia*) en Guatemala. Tesis Lic. Biol. Guatemala Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
31. REGLAMENTO DEREQUISITOS MÍNIMOS Y SUS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN PARA LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS. 17 de febrero de 1999. Guatemala, Diario de Centro América.
32. BOLDÁN HÉREZ, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia, Universidad de Antioquia.
33. ROMERO ROJAS, J.A. 1996. Acuquímica. 1ra. Edición. Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería.
34. SANDOVAL CALDERON, O.R. 1992. Determinación de mamíferos por medio de sus rastros en el biotopo chocón machacas, Livingston Izabal. Tesis Lic. Biol. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
35. SUPELCO. Catálogo 1998. Productos cromatográficos para análisis y purificación. United States of America, Supelco Internacional.
36. STANLEY, M. 1994. Environmental chemistry. 6 ed. United States of America, Lewis Publishers.
37. II TALLER CENTROAMERICANO Y DEL CARIBE SOBRE QUÍMICA ANALÍTICA AMBIENTAL Y SANITARIA. 1991, Guatemala, International Association of Environmental Analytical Chemistry, Universidad de San Carlos de Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala.
38. TEIXEIRA PIZA, D.F. 1996. Vigilancia ambiental. Estados Unidos de América, Organización Panamericana de la Salud.
39. TORRES VALENZUELA, R.J. 2001. Informe final de ejercicio profesional supervisado -EPS-. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Laboratorio de Monitoreo del aire, Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
40. TRES IRÍAS, J.A. 1985. Determinación preliminar de los hábitos alimenticios de tres especies de cíclidos (familia cichlidae, osteichthyes) del río cheeke jute, por medio de análisis de contenidos estomacales. Tesis Lic. Biol. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
41. VALDEZ, J. 1998. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Cuba. <http://www.hidrocapolic.sld.cu/text/hidrocarpetro.htm>
42. VILEE, C.A.; SOLOMON, E.P.; DAVIS, W.P. 1992. Biología. 2 ed. México, Interamericana McGraw-Hill.
43. WETZEL, R.G. 1995. Limnology. United States of America, W.B. Saunders Company.

Copyright (c) 2004 R.J. Torres y J.F. Pérez

Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)