

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL PEZ BLANCO
(*Petenia splendida*) EN TEJIDO MUSCULAR Y SU RELACIÓN CON LOS
NIVELES DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO PETÉN ITZÁ, GUATEMALA”**

ELSA MARÍA DE FÁTIMA REYES MORALES

Bióloga

Guatemala, Noviembre de 2007

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL PEZ BLANCO
(*Petenia splendida*) EN TEJIDO MUSCULAR Y SU RELACIÓN CON LOS
NIVELES DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO PETÉN ITZÁ, GUATEMALA”**

Informe de Tesis

Presentado por

ELSA MARÍA DE FÁTIMA REYES MORALES

Para optar al título de
Bióloga

Guatemala, Noviembre de 2007

Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Decano	Oscar Cobar Pinto, Ph. D.
Secretario	Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto
Vocal I	Licda. Lillian Raquel Irving Antillón, M.A.
Vocal II	Licda. Liliana Vides de Urizar
Vocal III	Licda. Beatriz Eugenia Batres de Jiménez
Vocal IV	Br. Mariemeralda Arriaga Monterroso
Vocal V	Br. José Juan Vega Pérez

ACTO QUE DEDICO

A Dios

A mis Padres: Ana María Morales
 Arnoldo Reyes Pérez

A mis Hermanas: María Isabel y Anita María

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres por todo su amor, apoyo y comprensión.

A mis Hermanas por todo su apoyo y cariño.

A mi Familia por todo su apoyo.

A la Universidad San Carlos de Guatemala.

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

A la Escuela de Biología, a todo el personal docente y administrativo.

A mi Asesora Bessie por toda la confianza, apoyo y consejos.

A mi Revisora Ruthy por su apoyo y consejos.

A Gustavo en especial, por estar allí siempre desde el principio hasta el fin.

A mis Amigos: Pavel, Chévere, Pilar, Elizabeth, Gandhi, Anita, Jennifer por estar en las buenas y en las malas.

INDÍCE

CONTENIDO	PÁGINA
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	3
III. ANTECEDENTES	5
3.1 Marco Teórico	5
3.1.1 Contaminación del Agua	5
3.1.2 Metales Pesados	5
3.1.2.1 Cadmio	5
3.1.2.2 Cobre	6
3.1.2.3 Mercurio	6
3.1.2.4 Níquel	7
3.1.2.5 Plomo	7
3.1.2.6 Zinc	7
3.1.3 Acumulación de metales Pesados en Tejido Muscular de Peces	7
3.1.4 Límites Permisibles de Toxicidad de Metales Pesados	8
3.1.5 Parámetros Físicoquímicos	10
3.1.5.1 Potencial de Hidrógeno (pH)	10
3.1.5.2 Temperatura	10
3.1.5.3 Conductividad	11
3.1.5.4 Oxígeno Disuelto	11
3.1.5.5 Transparencia	11
3.1.5.6 Demanda Bioquímica Orgánica (DBO)	12
3.1.5.7 Demanda Química Orgánica (DQO)	12

3.1.5.8	Sólidos en Suspensión	12
3.1.5.9	Sólidos Disueltos	13
3.1.5.10	Sólidos Totales	13
3.1.6	Límites Permisibles de Calidad de Agua para Aguas Naturales	13
3.1.7	Nutrientes	14
3.2	Marco Referencial	16
3.2.1	Área de Estudio	16
3.2.2	Generalidades del Sitio de Estudio	16
3.2.3	Fauna y Flora del Lago Petén Itzá	17
3.2.3.1	Flora	17
3.2.3.2	Fauna	17
3.2.4	Clasificación Taxonómica	18
3.2.4.1	Familia Cichlidae	18
3.2.4.2	Pez Blanco (<i>Petenia splendida</i>)	18
3.2.5	Poblaciones Humanas	19
3.3	Estudios Anteriores	20
IV.	JUSTIFICACIÓN	21
V.	OBJETIVOS	22
5.1	Objetivo General	22
5.2	Objetivos Específicos	22
VI.	HIPÓTESIS	23

VII. MATERIALES Y MÉTODOS	24
7.1 Universo de Trabajo	24
7.1.1 Población	24
7.1.2 Muestra	24
7.2 Materiales	24
7.2.1 Equipo	24
7.2.2 Reactivos	25
7.2.3 Cristalería	26
7.3 Recursos Humanos	28
7.4 Métodos	28
7.4.1 Técnicas de Recolección de Datos	28
7.4.2 Análisis de Datos	29
VIII. RESULTADOS	31
8.1 Metales Pesados	31
8.1.1 Metales Pesados en Tejido Muscular	31
8.1.2 Metales Pesados en Muestras de Sedimentos	33
8.1.3 Metales Pesados en Muestras de Agua	34
8.1.4 Talla, Peso, Sexo y Estadío Gonadal	35
8.2 Factores Físicoquímicos	38
8.3 Sólidos	39
8.4 Nutrientes	41
8.5 Análisis Estadístico	43
8.6 Agrupamiento y Ordenación de los Sitios de Muestreo	44
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46

9.1 Metales Pesados	46
9.1.1 Metales Pesados en Tejido Muscular de Pez Blanco	46
9.1.2 Metales Pesados en Muestras de Sedimentos	47
9.1.3 Metales Pesados en Muestras de Agua	47
9.1.4 Talla, Peso, Sexo y Estadío Gonadal	48
9.2 Parámetros Físicoquímicos	49
9.3 Sólidos	51
9.4 Nutrientes	52
9.5 Situación General del Lago Petén Itzá	54
X. CONCLUSIONES	55
XI. RECOMENDACIONES	56
XII. REFERENCIAS	58
XIII. ANEXOS	61
13.1 Mapa de Ubicación de Puntos de Muestreo en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá	61
13.2 Mapas de Distribución de Concentraciones de Parámetros Físicoquímicos, Sólidos y Nutrientes, en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.	62
13.3 Fotografías de los Sitios de Muestreo, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.	70
13.4 Fotografías de Vegetación Acuática del Lago Petén Itzá.	74

I. RESUMEN

Una de las problemáticas más importantes en el país es la alta demanda de agua y la presión antropogénica, sobre todo por el crecimiento poblacional, vertimiento de aguas servidas, uso indiscriminado de precursores químicos relacionados con actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas. Lo anterior ha llevado a que la contaminación química, en especial por metales pesados, constituya una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y para las especies presentes en ellos.

Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos en comparación a la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación; además, es importante mencionar que su consumo puede convertirse en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso. Sin embargo, es escaso el conocimiento que se tiene en el país de la problemática generada por la disposición en los cuerpos de agua de metales pesados y su impacto sobre el recurso íctico, el deterioro de ecosistemas y la salud humana.

El lago Petén Itzá es uno de los principales cuerpos de agua y de mayor superficie en el departamento del Petén, al Norte de Guatemala. Se encuentra bajo la jurisdicción de las municipalidades de San José, San Andrés, Flores y San Benito, tiene un área total de 99.6 Km², es de origen Cárstico y en él predominan los suelos calizos.

El estudio tuvo como principal objetivo establecer si existe un efecto entre los niveles de contaminación del agua del lago Petén Itzá y los niveles de contaminación de metales pesados en el tejido muscular del Pez Blanco (*Petenia splendida*), capturado en el lago.

Con base a normas internacionales vigentes se realizaron análisis de contenidos de Metales Pesados (Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc), en muestras de tejido muscular de Pez Blanco, sedimentos y agua, para comprobar los efectos de la contaminación acuática, además de una evaluación de la calidad de agua.

Los resultados reflejaron que existe una bioacumulación de metales pesados en peces, sin embargo, se encuentran entre lo permisible para consumo humano. Sumado a ello, se asume que existe una relación directa entre las concentraciones de metales pesados en el agua, sedimentos y tejido muscular de Pez Blanco (*Petenia splendida*).

Para determinar la calidad fisicoquímica del agua del lago Petén Itzá se determinaron siete sitios de muestreos, siendo estos: Aeropuerto, Le Pet, San Andrés, San Benito, San José, San Miguel y Santa Elena; se efectuaron cuatro muestreos durante la temporada seca y lluviosa.

Los resultados de Potencial de hidrógeno, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Transparencia, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química Orgánica, Sólidos y Nutrientes, reflejan que las condiciones que prevalecen en el agua del lago Petén Itzá son de un ámbito mesotrófico - oligotrófico. No obstante, existe contaminación puntual proveniente de las descargas de aguas negras por los poblados, lo que fue evidente por la presencia de malezas acuáticas en las zonas de descarga.

Finalmente se concluyó, en base a los datos obtenidos, que los niveles de contaminación del lago Petén Itzá se encuentran entre lo permisible para aguas dulces cársicas. Se recomienda un seguimiento limnológico para conocer los cambios y los procesos de contaminación a los que el lago está siendo sometido.

II. INTRODUCCIÓN

El lago Petén Itzá es uno de los principales cuerpos de agua y de mayor superficie en el departamento del Petén, al norte de Guatemala. Se encuentra bajo la jurisdicción de las municipalidades de San José, San Andrés, Flores y San Benito, tiene un área total de 99.6 Km², es de origen Cárstico y predominan los suelos calizos.

La cuenca del lago Petén Itzá se encuentra sometida a una fuerte demanda de agua y vertidos domésticos no controlados, que ha llevado a que la contaminación química, en especial por metales pesados, constituya una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos.

Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos que la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación. Esto también implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso, pues representan varios niveles de la cadena alimenticia (Faial et al., 2005; Mancera et al., 2006).

Este estudio evaluó el estado de la concentración de metales pesados en tejido muscular del Pez Blanco (*Petenia splendida*) en base a los niveles de contaminación por metales encontrados en el agua del lago Petén Itzá. Se hizo énfasis a las concentraciones de Cadmio, Plomo, Zinc, Mercurio, Níquel y Cobre, ya que éstos constituyen un riesgo serio para el ambiente y para los recursos hídricos.

Las mediciones fisicoquímicas que se realizaron para determinar la calidad de agua fueron: pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales, Nitrógeno de Amonio, Nitrógeno de Nitritos, Nitrógeno de Nitratos y Nitrógeno Total, Fósforo de Ortofosfatos y Fósforo Total.

La información generada servirá para conocer mejor el recurso piscícola con el fin de darle un mejor manejo, además para potenciar el uso de los bienes y servicios que el lago Petén Itzá pueda ofrecer.

III. ANTECEDENTES

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 Contaminación del Agua

La contaminación del agua es la adición de sustancias extrañas que deterioran su calidad. La calidad de agua se refiere a su aptitud para los usos beneficiosos como bebida de hombres y animales, riego de cultivos y para recreación. La calidad de agua desde el punto de vista ecológico, depende fundamentalmente de los aportes naturales dados por las lluvias y por la naturaleza geoquímica del terreno (Roldán, 1992).

Un contaminante puede ser de origen vivo como el ocasionado por microorganismos proveniente de desechos domésticos (aguas residuales principalmente); o de origen inerte como sustancias tóxicas provenientes de la erosión de los suelos, actividades mineras, agrícolas e industriales (Barrenetxea et al., 2003; Roldán, 1992).

3.1.2 Metales Pesados

Los metales pesados son unos de los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. La toxicidad de los metales depende del grado y la forma de oxidación de un ión metálico dado y que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. Se consideran los siguientes: Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc (Barrenetxea et al., 2003; Calderón, 1997).

3.1.2.1 Cadmio (Cd)

El Cadmio procede de vertidos industriales, de tuberías galvanizadas deterioradas, o de los fertilizantes derivados del cieno o lodo. Existen pequeñas cantidades de cadmio en algunos alimentos y bebidas (los alimentos más susceptibles de contaminación por cadmio son el pescado, los mariscos y el té negro) de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, hipertensión, arteriosclerosis, así como lesiones en el hígado y los riñones ya que el cadmio se deposita principalmente en las arterias y en los

riñones, además provoca fragilidad y dolor intenso en los huesos, esterilidad en hombres y daño renal (Calderón, 1997). El tratamiento contra la intoxicación consiste en la administración de vitamina C, B6, Zinc, aminoácidos y selenio (Barrenetxea et al., 2003). La United Nations Food and Agriculture Organization recomienda que el límite máximo de cadmio en aguas para irrigación sea de 10 µg/L. El límite máximo aceptable de la EPA es de 10 µg/L (APHA, 1998).

3.1.2.2 Cobre (Cu)

Metal procedente de las industrias mineras, recubrimiento de metales y corrosión. El Cobre no es muy tóxico en animales, pero afecta el sistema digestivo (Barrenetxea et al., 2003). Es un irritante del sistema gastrointestinal y puede causar la enfermedad de Wilson. La United Nations Food and Agriculture Organization recomienda que el límite máximo de cobre en aguas para irrigación sea de 200 µg/L. El límite máximo aceptable de la EPA es de 1.0 - 1.3 mg/L (APHA, 1998).

3.1.2.3 Mercurio (Hg)

Su toxicidad depende del estado en que se encuentre: los compuestos inorgánicos de mercurio son menos peligrosos que los compuestos organomercúricos. Su acción nociva para el organismo consiste en la destrucción de glóbulos rojos, cambios cromosómicos, tumores cerebrales, etc. Los síntomas más frecuentes de intoxicación por mercurio se manifiestan en una pérdida de apetito y peso, inflamación de las encías, temblores, alteraciones psíquicas, convulsiones, irritaciones cutáneas, aparición de un gusto metálico en la boca, aumento en la secreción salivar, anemia, alteraciones neurológicas y afecciones del sistema respiratorio, desórdenes congénitos, insuficiencia renal, etc.

El tratamiento contra intoxicación por mercurio consiste en un aporte de aminoácidos azufrados y administración de vitamina C, E, pectina y selenio (Barrenetxea et al., 2003). El límite máximo aceptable de la United State of America Environmental Protection Agency - EPA - es de 0.144 - 2.0 µg/L (EPA, 1986). El límite establecido por la World Health Organization - WHO - es de 0.5 µg/g (WHO, 1996).

3.1.2.4 Níquel (Ni)

El Níquel es usado en aleaciones, imanes, catalizadores y baterías. Resulta ser poco tóxico pero hay evidencias de que los vapores son carcinogénicos, además presenta síntomas de dermatitis y náuseas. La United Nations Food and Agriculture Organization recomienda que el límite máximo de níquel en aguas para irrigación sea de 200 µg/L. El límite máximo aceptable de la EPA es de 0.632 mg/L (APHA, 1998).

3.1.2.5 Plomo (Pb)

Las principales fuentes de plomo son los gases de escape de automóviles que usan gasolinas con plomo y las pinturas. El plomo se absorbe en el tubo gastrointestinal y los principales síntomas de intoxicación son anorexia, dolor abdominal, vómitos, irritabilidad, apatía y encefalopatías (Barrenetxea et al., 2003). Es sumamente tóxico cuando se encuentra en grandes cantidades en la sangre de niños, causa daño hepático y cerebral, retardo mental, convulsiones, anemia y cáncer de riñón en adolescentes. El límite máximo aceptable de la EPA es de 1.5 µg/L (APHA, 1998).

3.1.2.6 Zinc (Zn)

Los efectos son desórdenes gastrointestinales y, en casos severos, las perforaciones del tracto digestivo. Sus principales fuentes son las pinturas, aleaciones, pigmentos, catalizadores, y recubrimiento de metales. La United Nations Food and Agriculture Organization recomienda que el límite máximo de zinc en aguas para irrigación sea de 2 mg/L. El límite máximo aceptable de la EPA es de 5 mg/L (APHA, 1998).

3.1.3 Acumulación de Metales Pesados en Tejido Muscular de Peces

La contaminación química en especial por metales pesados, constituye una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos. Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos en comparación con la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación, pero también esto implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.

El contenido de metales pesados en las diferentes especies de peces depende de su posición en la cadena trófica y de sus hábitos alimentarios (Faial et al., 2005; Mancera et al., 2006). En peces carnívoros los niveles de metales pesados son más elevados en comparación con especies no carnívoras (Faial et al., 2005; Seixas et al., 2005).

Los metales pesados son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica, llegando a alcanzar niveles altos de toxicidad ya que se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas (Mancera et al., 2006; Oliva, 2007).

La acumulación es afectada por varios parámetros como: especie, tamaño, madurez sexual, variación estacional, hábito alimenticio, nivel trófico, calidad de agua y contaminación ambiental (Seixas et al., 2005).

La mayoría de metales pesados son de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, que culminan en el consumo humano. Por ejemplo, el Mercurio se acumula en sedimentos en la base de los cuerpos de agua, donde los microorganismos como bacterias que viven allí pueden convertirlo a la forma orgánica del metilmercurio, que es sacado por los gusanos y otros animales pequeños que viven en los sedimentos. Este compuesto se acumula en los peces que comen estos animales y en los peces más grandes que se comen a los peces más pequeños (Seixas et al., 2005; Mancera, 2006).

3.1.4 Límites Permisibles de Toxicidad de Metales Pesados

La contaminación química especialmente por metales pesados es una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos, las especies presentes en ellos y los consumidores. Con base a normas vigentes se han definido las concentraciones de metales pesados en agua y en tejidos de peces, las cuales por arriba de estos valores implica un daño a la salud del consumidor.

A continuación en el Cuadro 1 se enlistan los límites permisibles de metales pesados en peces, sedimentos y aguas Naturales, los valores por arriba de éstos no son adecuados para consumo humano.

Cuadro 1. *Límites Permisibles de Toxicidad de Metales Pesados.*

	Peces		Sedimentos	Aguas Naturales	
	BFL (µg/g)	WHO (µg/g)	WHO (ppm)	CONAMA (ppm)	EPA (ppm)
Cadmio (Cd)	-	0.01 - 1.04	5	0.001	0.01
Cobre (Cu)	30	-	30	0.009	1.5
Mercurio (Hg)	0.5	0.5	-	0.0002	0.002
Níquel (Ni)	-	0.02 - 2.0	-	0.025	0.632
Plomo (Pb)	2.0	0.2 - 2.5	10 -70	0.01	0.0015
Zinc (Zn)	50	66	100	0.18	5

Fuente: (Calza, 2005; CONAMA, 2006; EPA, 1986; WHO, 1996)

BFL Brazilian Food Legislation. Límites Máximos Permisibles (MPL) de Concentraciones de Metales Pesados en Tejido Muscular de Peces (Calza, 2005).

WHO World Health Organization. INCHEM. Internacional Programe on Chemical Safety. Environmental Health Criteria. Límites Máximos Permisibles de Concentraciones de Metales Pesados (WHO, 1996).

CONAMA Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil. Resoluciones de Calidad de Agua. Condiciones y Parámetros de Calidad de Aguas Dulces (CONAMA, 2006).

EPA Environmental Protection Agency. USA. Criterios recomendados de Calidad de Agua para Aguas Naturales (EPA, 1986).

3.1.5 Parámetros Fisicoquímicos

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

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

3.1.5.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El Potencial de Hidrógeno está relacionado con la acidez o alcalinidad de un vertido e influye sobre los procesos biológicos y químicos del sistema acuático. El agua está disociada en iones H^+ y OH^- . Las sales minerales disueltas en el agua se disocian en iones positivos y negativos y esta ionización varía de unos compuestos a otros. El pH se expresa en la práctica como una escala que va de 1 a 14 y representa el inverso del logaritmo 10^{-14} . Valores extremos de pH pueden causar la muerte rápida de peces, alteraciones en la flora y la fauna, y desencadenar reacciones secundarias peligrosas. El pH debe mantenerse dentro de un rango normal para la vida acuática entre 6.5 - 8.0 unidades (Barrenetxea et al., 2003; EPA, 1986; Wetzel, 1975).

3.1.5.2 Temperatura

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

3.1.5.3 Conductividad

La Conductividad y la dureza que reflejan el contenido de sales minerales que pueden estar asociadas con las características geoquímicas de la cuenca. La conductividad de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia y concentración total de iones en el agua. Una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH. La unidad empleada es el Siemen (S) (Barrenetxea et al., 2003). Los valores normales de conductividad es por debajo de los 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resultados por debajo de estos valores indican oligotrofia o baja productividad y valores por encima indican eutrofia o alta productividad (Roldán, 1992).

3.1.5.4 Oxígeno disuelto

El Oxígeno Disuelto es uno de los gases más importantes en la dinámica y caracterización de los sistemas acuáticos, no sólo para mantener los organismos vivos, sino también para mantener los niveles de reproducción y desarrollo de especies. La reducción de oxígeno disuelto interfiere con la población de peces a través de retrasos en la suelta de huevos, embriones reducidos en tamaño, deformaciones en jóvenes, disminución de tolerancia a tóxicos, utilización de alimentos y crecimiento (Barrenetxea et al., 2003; Margalef, 1983). La EPA ha señalado que la cantidad que rige como normativa para el oxígeno disuelto depende de las especies que se desarrollen en el cuerpo de agua, pero en términos generales ha establecido un rango de 3.0 a 5.0 mg/L (EPA, 1986).

3.1.5.5. Transparencia

La Transparencia es una de las propiedades ópticas del agua que influye en la penetración de la luz. Si existen muchos materiales en suspensión, la penetración de la luz será menor; esto puede constituir un factor limitante para el desarrollo de los organismos vivos. La transparencia se mide en metros (mts), profundidad a la que deja de verse el Disco Secchi (Barrenetxea et al., 2003). Se considera que un lago es eutrófico cuando la transparencia se encuentra por los 0.5 mts de profundidad y oligotrófico cuando es de 20 a 25 mts (Roldán, 1992).

3.1.5.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

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

Valores elevados de DBO indican una alta concentración de materia biodegradable (Barrenetxea et al., 2003). La DBO₅ mide el peso de oxígeno disuelto utilizado por microorganismos para oxidar o transformar los compuestos presentes en el agua durante un período de 5 días a 20° C de temperatura. La EPA no ha establecido norma alguna para la concentración de este parámetro (EPA, 1986).

3.1.5.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de oxidación química contenida en el agua, se expresa en miligramos por litro (mg/L). La relación entre la DBO y la DQO nos dan una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos existentes en el agua. Si los valores de DQO son elevados indican la presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica biodegradable (Barrenetxea et al., 2003). La EPA no ha establecido norma alguna para la concentración de este parámetro (EPA, 1986).

3.1.5.8 Sólidos en Suspensión

Son sólidos inorgánicos y orgánicos. Pueden ser arenas, grasa, aceite, alquitrán y trozos de restos de animales y vegetales que se sedimentan tarde o temprano. Pueden ser biodegradables lenta o rápidamente. Determinan la turbidez, reducen la penetración de la luz y afectan a la actividad fotosintética de las plantas. Conducen al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas (APHA, 1995; EPA, 1986; Manahan, 2000).

3.1.5.9 Sólidos Disueltos

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos no filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas (APHA, 1995; EPA, 1986; Manahan, 2000).

3.1.5.10 Sólidos totales

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

3.1.6 Límites Permisibles de Calidad de Agua para Aguas Naturales

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

Cuadro 2. *Límites Permisibles de Calidad de Agua para Aguas Naturales.*

Parámetro	Límite Permisible
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5 - 9.0
Temperatura (T°)	15 -32 ° C
Conductividad	< 1,500 $\mu\text{S/cm}$
Oxígeno Disuelto	3 - 5 mg/L
Transparencia	20 a 25 mts
Demanda Bioquímica Orgánica (DBO)	3 mg/L
Demanda Química Orgánica (DQO)	-
Sólidos Suspendidos (SS)	80 mg/L
Sólidos Disueltos (SD)	500 mg/L
Sólidos Totales (ST)	300 - 400 mg/L

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

3.1.7 Nutrientes

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

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

El *Amonio* proviene de materia orgánica en descomposición y de contaminación humana fecal, además la distribución y los niveles de NH_4 son altamente variables, dependen de la estacionalidad, productividad, pH y de la cantidad de materia orgánica en descomposición. Los *Nitritos* y *Nitratos* provienen de contaminación fecal y arrastre de nitrógeno debido a prácticas agrícolas con fertilizantes nitrogenados. El *Nitrógeno Total* es la suma de todas las formas en que el nitrógeno puede estar en el medio, por lo que su concentración dependerá de la cantidad total de nitratos, nitritos y amonio presentes en la muestra.

El *Fósforo de Ortofosfato* y *Fósforo Total* son los componentes principales de los fertilizantes. Los ortofosfatos son fosfatos inorgánicos solubles en agua y son arrastrados a las aguas superficiales por el agua de escorrentía. El fósforo es un nutriente esencial para la vida en los cuerpos de agua. El exceso de estos parámetros provoca eutrofización.

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

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

Cuadro 3. Clasificación de los Lagos de acuerdo al contenido de Nutrientes.

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

Fuente de Datos: Roldán, 1992; Wetzel, 2001.

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Área de Estudio

La cuenca del lago Petén Itzá tiene una extensión de 1,300 km², se encuentra dentro de la Plataforma de Yucatán, capa tectónica estable y de topografía baja que comprende la península de Yucatán y la parte central y norte del departamento del Petén (Pape , 2002).

El lago Petén Itzá está localizado en Las Tierras Bajas del Petén a una altitud de 110 msnm, está ubicado en la parte central del departamento del Petén, Guatemala. Se encuentra bajo la jurisdicción de las municipalidades de San José al norte, San Andrés al oeste, Flores y San Benito al sur, tiene un área total de 99. 6 Km². Se encuentra en la latitud N 16°54'00" y longitud W 89°41'30 (Anexo 13.1). Los suelos son de origen Cárstico y predominan los suelos calizos (Basterrechea, 1988). La parte norte del lago Petén Itzá se encuentra dentro de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya - RBM -.

3.2.2 Generalidades del Sitio de Estudio

El lago se alimenta principalmente de aguas subterráneas, desde el drenaje del Río San Pedro. No cuenta con desagües superficiales, únicamente recibe aguas superficiales del Río Ixlú e Ixpop que son los principales afluentes, pero hay otros menos importantes como el Río Naranjo, Pijul, y arroyos como el Tigre y Cantetul y muchas quebradas que durante invierno aportan agua al lago (Pape, 2002).

La precipitación promedio anual del área es de 1,555.2 mm. Los meses con mayor precipitación en la región van de junio a octubre. La estación seca se extiende de enero a abril. En el período de mayor precipitación, el proceso de lixiviación y filtración de agua es más profundo, alterando la química de los suelos y del cuerpo de agua al producirse un lavado de las sales de los suelos. La evaporación del agua en la superficie del lago puede alcanzar los 1,400 mm/año, valor similar a la precipitación. Los valores de evaporación no parecen tener mayor incidencia en las variaciones del lago, por lo que mantiene en balance hídrico estable (Basterrechea, 1988; Pape, 2002).

El clima del área de estudio está dentro del tipo tropical húmedo, donde las temperaturas máximas pueden alcanzar valores absolutos de 39° C en tierra bajas y valores mínimos absolutos de 10° C en tierras altas, siendo el promedio anual de 25.5° C. Los meses más calurosos son abril y mayo, alcanzando un valor medio de 30° C, y los más fríos en diciembre y enero con valor medio de 21° C (Pape, 2002).

La humedad relativa para el área se presenta con una máxima de 79% y una baja de 50% en verano. Los vientos soplan de sureste y noreste y las velocidades fluctúan entre 6.7 Km/h a 13.2 Km/h, siendo más fuertes en los meses de enero a mayo.

3.2.3 Fauna y Flora del Lago Petén Itzá

3.2.3.1 Flora

La sotoselva es muy rica con abundantes palmas y plántulas del dosel en diversas etapas de crecimiento. La vegetación es dominada por Caoba (*Swietenia macrophylla* King), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Chico zapote (*Achras zapota* L.), Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.) y Ceiba (*Bombax pentandrum* L.).

Dentro de la vegetación acuática se encuentra *Echhicornia crassipes* (ninfa), *Vallisneria americana*, *Najas* sp., *Cabomba* sp., *Salvinia* sp., *Potamogeton* sp., *Cyperus* sp., *Typha* sp., *Schoenoplectus* sp., *Pontederia* sp., *Utricularia* sp., entre otras (Comunicación personal con Morales, 2006).

3.2.3.2 Fauna:

Peces: En el lago Petén Itzá se encuentran varias especies de peces, algunas de ellas nativas como el Pez Blanco (*Petenia splendida*). También el Guapote (*Cichlasoma friedrichstali*), Bull amarillo (*Cichlasoma urophthalmus*), la Anguila (*Anguilla rostrata*), la Sardina de Leche (*Dorsoma petenense*), la Pepesca (*Astyanax aeneus*), la Sardinita (*Hyphessobrycon* sp.) y el Filín o Juilín (*Rhamdia guatemalensis*) (Comunicación personal con Kihn, 2006; Pape, 2002).

Aves: Se pueden observar garzas, martines pescadores, pato coche, patos, playeros, etc.

Herpetofauna: Las especies más comunes en la lago Petén Itzá son el Sapo lechero (*Bufo marinus*), Sapo costero (*Bufo valliceps*), Cocodrilos (*Crocodylus moreletii*), Tortugas (Pochitoques, *Kinosternon spp.*; Tortuga blanca, *Dermatemys mawii*; Jicotea, *Trachemys scripta*), Basiliscos (*Basiliscos vitatus*), Iguanas (*Iguana iguana*) y serpientes como la Mazacuata (*Boa constrictor*) (Dix, 2001).

3.2.4 Clasificación taxonómica

3.2.4.1 Familia Cichlidae

Los miembros de la familia Cichlidae son encontrados principalmente en tierras bajas, áreas de agua dulce de regiones tropicales y subtropicales. La mayoría de cíclidos son distinguidos de todos los demás peces de agua dulce por la existencia de dos características únicas: una apertura nasal simple y una línea lateral interrumpida. Las espinas de la aleta anal usualmente se encuentran en números de tres.

3.2.4.2 Pez Blanco (Petenia splendida Günther, 1862)

El Pez Blanco pertenece a la Familia Cichlidae, esta especie tiene un proceso premaxilar característico que la distingue de los demás de la familia, se alimenta de peces, tiene de 6 a 7 puntos negros en los lados y su ocelo se ubica en la mitad más alta del tallo caudal. La aleta dorsal cuenta con solamente 15 espinas dorsales, tiene quijada protractil para la succión de pescados de tamaño pequeño, los adultos miden aproximadamente de 30 - 50 cm. Su distribución va desde el Río Grijalva al Río Usumacinta en México, en el Río Usumacinta en Guatemala y Belice (Conkel, 1993). Viven en la zona más próxima al fondo del cuerpo de agua, por lo que les clasifica como demersales. Habitan en aguas con un pH entre 7 - 7.5 y una temperatura entre 26 - 30° C.

El Pez Blanco es endémico de la región y se encuentra en el apéndice 3 de la Lista Roja de CONAP bajo la categoría de Manejo Especial, incluyendo a especies que se encuentran amenazadas por explotación o pérdida de hábitat.

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazada de Fauna y Flora Silvestres - CITES - y los Criterios de la Unión Mundial para la Naturaleza - UICN - no lo consideran como una especie en peligro de extinción (CONAP, 2001).

Dentro de la clasificación taxonómica del Reino Animal, la especie estudiada se encuentra clasificada así (Conkel, 1993):

Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Clase	Osteichthyes
Sub Clase	Actinopterygii
Super Orden	Teleostei
Orden	Perciformes
Familia	Cichlidae
Subfamilia	Cichlasomatinae
Género	<i>Petenia</i>
Especie	<i>splendida</i>

2006.

Nombre científico: *Petenia splendida*

Nombre Común: Pez Blanco.



Fuente: B. Oliva

3.2.5 Poblaciones Humanas

Las poblaciones alrededor del lago Petén Itzá han crecido rápidamente en magnitud y composición en las últimas tres décadas. Altas tasas de migración hacia y dentro del El Petén de colonos de la costa sur y de oriente han sido factores de este crecimiento. De esa cuenta, los municipios aledaños al lago, San Benito, Santa Elena, San Miguel, San Andrés, San José, San Pedro, Jobompiche, Cerro Cahuí, El Remate y la Isla de Flores, sirven de asentamiento para poblaciones humanas. Siendo la Isla de Flores la más densa en población, pero quien tiene la tasa más alta de crecimiento demográfico es San Benito, que concentra el comercio de la región (Oliva, 2005; Pape, 2002).

3.3 ESTUDIOS ANTERIORES

Pocos estudios se han realizado sobre limnología y contaminación del lago Petén Itzá. Basterrechea en el año de 1985, realizó un estudio tomando en cuenta las características físicas, químicas y biológicas, con el propósito de buscar alguna relación con el aumento del nivel del agua del lago. Basterrechea concluyó en su estudio, que debido a los principales indicadores de la eutrofización como el oxígeno disuelto, transparencia, nutrientes y especies de algas, el lago Petén Itzá se encontraba en un estado mesotrófico - oligotrófico, existiendo contaminación proveniente de las descargas de aguas negras por los poblados aledaños. El mismo autor indica, que es necesario realizar un seguimiento limnológico, para conocer el comportamiento, cambios de fluctuación del nivel del agua y contaminación de lago Petén Itzá (Basterrechea, 1988).

Un estudio más reciente efectuado por Oliva en el año de 2005, donde se evaluó la contaminación fisicoquímica y bacteriológica en el lago Petén Itzá, con la finalidad de determinar las principales causas de la contaminación. Dicho estudio concluyó que el lago presenta niveles de contaminación que corresponden a un estado eutrófico y que el agua no es apta para consumo humano ni para propósitos recreativos. Asimismo, se determinó que la descarga de aguas residuales, la agricultura y pastoreo de animales son las principales causas de la contaminación en el lago, por lo que se propone implementar programas de educación ambiental y de tratamiento de las aguas residuales como soluciones viables para la disminución de la contaminación del lago Petén Itzá (Oliva, 2005).

IV. JUSTIFICACIÓN

El lago Petén Itzá es un ecosistema característico en el que se encuentra una gran diversidad de flora y fauna. En los últimos años se ha observado un deterioro en la calidad del agua debido a la contaminación producida por aguas residuales producto de la actividad humana, siendo así, adecuado determinar el impacto de la contaminación por metales pesados sobre el Pez Blanco (*P. splendida*).

El presente estudio permitió establecer la relación entre las variaciones de contaminación y el efecto que tiene sobre las poblaciones de peces, ya que afecta la viabilidad económica de la pesca artesanal de las comunidades aledañas al lago Petén Itzá.

El propósito de evaluar la relación de la contaminación producto de las aguas residuales vertidas en el área de estudio, principalmente de metales pesados, en esta especie fue debido a la problemática de la disminución de las poblaciones del Pez Blanco, principal recurso piscícola y el más apetecido por los pobladores.

Estudios realizados en la cuenca del lago Petén Itzá, han mostrado que las concentraciones de las características físicoquímicas del agua tales como nutrientes y bacteriológicas se encuentran por arriba de lo permisible para aguas naturales.

El estudio realizado proporcionará información que podría influir en las acciones del programa de los ambientes acuáticos del lago Petén Itzá y en la administración y planificación del manejo de la cuenca por autoridades ambientales para gestionar medidas adecuadas, lo que a su vez beneficiará a comunidades aledañas como Santa Elena, San José, Flores, San Benito y otras que perciban beneficios económicos a partir de la actividad de pesca.

V. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- 5.1.1 Establecer si existe un efecto entre los niveles de contaminación del agua del lago Petén Itzá y los niveles de contaminación en el tejido muscular del Pez Blanco (*P. splendida*), capturado en el lago.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.2.1 Establecer la relación entre los niveles de los metales tóxicos que se encuentran en el agua y en tejido muscular del Pez Blanco (*P. splendida*) del lago Petén Itzá.
- 5.2.2 Determinar si las concentraciones de metales pesados en el tejido muscular del Pez Blanco (*P. splendida*), se encuentran entre lo permisible para consumo humano.
- 5.2.3 Determinar si existe correlación entre los valores encontrados de contaminantes y la talla de los peces.
- 5.2.4 Evaluar la relación talla/peso y determinar el sexo y el estadio de la madurez gonadal de las muestras de Pez Blanco (*P. splendida*), capturados.

VI. HIPÓTESIS

Alta concentración en los niveles de contaminación por metales pesados en el agua del lago Petén Itzá provocan una alta acumulación de estos metales tóxicos en el tejido muscular del Pez Blanco (*P. splendida*).

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

7.1.1 Población

La población es representada por los peces de *Petenia splendida* (Pez Blanco) del lago Petén Itzá.

7.1.2 Muestra

Muestras colectadas de Pez Blanco (*P. splendida*) en cada uno de los siete puntos de muestreo establecidos en el lago Petén Itzá.

7.2 MATERIALES

7.2.1 Equipo

Aparato de Sistema de Posicionamiento Global GPS

Aparato Medidor de Humedad y Temperatura RadioShack

Autoclave VWRbrand

Espectrómetro de Reflexión Total de Rayos X

Balanza Analítica Mettler Toledo

Bomba de Vacío Sarvac

Conductímetro WTW LF 320

Conos Imhoff

Desecadora

Disco Secchi

Espectrofotómetro UV-Visible Hach DR/2010

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Estufas con agitación magnética VWRbrand
Horno VWRbrand
Oxímetro WTW Multiline P4
Pipetas volumétricas automáticas
Micropipetas Eppendorf (20, 100 – 1,000 μ l)
Potenciómetro Hach SensIon1
Termoreactor Merck TR 3010
Vortex VWRbrand

7.2.2 Reactivos

Ácido ascórbico (grado analítico)
Ácido clorhídrico concentrado (grado analítico)
Ácido sulfúrico concentrado (grado analítico)
Ácido Nítrico concentrado (grado analítico)
Agua destilada
Almidón (grado analítico)
Carbonato de calcio (grado analítico)
Cloruro de amonio (grado analítico)
Cloruro de bario (grado reactivo)
Cloruro de sodio (grado analítico)
Dicromato de potasio (grado analítico)
Etilendiamintetraacetato de sodio (grado analítico)
Fenol (grado analítico)
Ferroína (grado analítico)
Fosfato diácido de potasio (grado analítico)
Fosfato monoácido de potasio (grado analítico)
Fosfato monoácido de sodio (grado analítico)
Glicerol (grado analítico)
Heptamolibdato de amonio (grado analítico)
Hidróxido de sodio (grado analítico)

Hipoclorito de sodio (comercial)
Isopropanol
Negro de ericromo T (grado analítico)
Nitra Ver 5 y 3
Persulfato de potasio (grado analítico)
Pirofosfato de sodio decahidratado (grado analítico)
Solución Estándar de Itrium
Sulfanilamida (grado analítico)
Sulfato de sodio (grado analítico)
Sulfato ferroso amónico (grado analítico)
Sulfato de magnesio heptahidratado (grado analítico)
Tartrato de antimonilpotasio (grado analítico)
Tiosulfato de sodio (grado analítico)
Yoduro de sodio (grado analítico)

7.2.3 Cristalería

Agitador de vidrio
Agitador magnético
Balón aforado de 25, 50, 100 y 250 ml
Beakers de 50, 100, 250, 500 ml y 1 L
Botellas de vidrio de 250 ml
Botellas plásticas de polietileno de 1 L
Bureta de 50 ml
Bulbos para pipeta
Cápsulas de porcelana
Equipo para reflujo
Filtros de fibra de vidrio y filtros de plástico
Goteros
Gradillas
Matraces Erlenmeyer de 250 ml

Pinza para bureta

Pinza para cápsula de porcelana

Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 ml

Pipetas Pasteur

Pizetas

Probetas de 10, 50, 250 ml

Puntas de pipeta volumétrica

Termómetro

Tubos con tapón de rosca de 50 ml.

Tubos de ensayo de 25 y 50 ml

7.3 RECURSOS HUMANOS

Br. Elsa María de Fátima Reyes Morales

M. Sc. Bessie Evelyn Oliva Hernández

7.4 MÉTODOS

7.4.1 Técnicas de Recolección de Datos

Para la colecta de las muestras, se establecieron 7 sitios de muestreo, siendo estos: Aeropuerto, Le Pet, San Andrés, San Benito, San José, San Miguel y Santa Elena (Anexo 13.1), los cuales fueron seleccionados en base a la cercanía con asentamientos humanos y principales fuentes de contaminación del lago, como áreas agrícolas, áreas deforestadas, y descargas de aguas residuales.

Se colectaron muestras de peces de *P. splendida* para realizar los análisis químicos de metales pesados en tejido muscular, para comparar la relación entre las concentraciones del medio circundante y las concentraciones en el tejido muscular (lomo) del pez.

El procedimiento que se utilizó para determinar las concentraciones de metales pesados en tejido muscular de Pez Blanco del primer y segundo muestreo fue por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica realizada en el Laboratorio de Radioisótopos del Instituto de Biofísica de la Universidad de Río de Janeiro, Brasil.

El procedimiento que se utilizó para determinar las concentraciones de las muestras de peces del tercer muestreo y de las muestras de sedimentos y de agua fue por medio de Espectrometría de Reflexión Total de Rayos X, en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Los peces colectados fueron sexados tomando como base la apertura cloacal, pesados con una balanza analítica, medidos con Vernier y se determinó el estadio gonadal para complementar la base de datos y poder establecer la relación entre los niveles de contaminación del lago Petén Itzá en el Pez Blanco (*P. splendida*). Los parámetros que se utilizaron para estimar el estadio gonadal fueron (Padín et al., 2003):

1. Gónadas casi nada desarrolladas,
2. Gónadas poco desarrolladas,
3. Gónadas desarrolladas, y
4. Gónadas muy desarrolladas.

En cada estación se realizaron 4 muestreos, el muestreo abarcó la época lluviosa y la época seca. Todos los sitios se registraron por medio de un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS por sus siglas en inglés).

Se realizaron análisis fisicoquímicos *in situ* tales como Temperatura (T°), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad, Transparencia y Oxígeno Disuelto en cada punto de muestreo. Las mediciones se realizaron con un medidor portátil, excepto la transparencia y profundidad que se midieron con disco de Secchi.

Se tomaron en cada sitio muestras de agua de 4 litros cada una para realizar los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nutrientes (Nitrógeno de Amonio, Nitritos NO^{2-} , Nitratos NO^{3-} , Nitrógeno Total, Fósforo de Ortofosfatos y Fósforo Total), Sólidos (Sólidos Suspendidos, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales) y Metales Pesados. Además se tomaron muestras de sedimentos para determinar las concentraciones de metales pesados como Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo, Níquel y Zinc.

Los procedimientos para colecta y análisis de laboratorio se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de la Standard Methods for the Análisis of Water and Wastewater - APHA- y la Environmental Protection Agency - EPA - (APHA, 2000; EPA, 1986).

7.4.2 Análisis de Datos

El análisis de los índices de calidad de agua del lago Petén Itzá se realizó en base a las Normas de Calidad de Agua para Aguas Naturales de la Environmental Protection Agency - EPA- y para evaluar las concentraciones de metales pesados en tejido muscular, sedimentos y muestras de agua se utilizó las normas de Brazilian Food Legislation - BFL -, valores guía de la World Health Organization - WHO - y las Resoluciones de Calidad de Agua del Consejo Nacional de Medio Ambiente - CONAMA -, respectivamente (Calza, 2005; CONAMA, 2006; EPA, 1986; WHO, 1996).

Para encontrar si existía una diferencia significativa entre sitios se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis para poblaciones independientes con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, debido a que las muestras no son homogéneas ni tienen una distribución normal.

También se realizó una prueba de correlación lineal para evaluar la relación entre las concentraciones de metales pesados en el tejido muscular del Pez Blanco, sedimentos, muestras de agua y peso.

Se realizó un Análisis Jerárquico de Agrupamiento (Análisis de Cluster) y un Análisis Multivariado de Correspondencia Rectificado (DCA), para identificar la agrupación de los sitios de muestreo según las relaciones entre los parámetros de acuerdo a sus similitudes y disimilitudes (Krebs, 1999).

Los resultados obtenidos se presentan en cuadros, cada uno con sus respectivos descriptores y se grafican para un mejor entendimiento de los resultados.

Asimismo se elaboraron mapas que localizan los puntos de mayor contaminación en el lago Petén Itzá, en los sitios muestreados, por medio del Software ArcView 3.3. Estos mapas sirven para identificar y evidenciar puntos con mayores concentraciones de contaminantes.

VIII. RESULTADOS

8.1 Metales Pesados

8.1.1 Metales Pesados en Tejido Muscular

La contaminación química en especial por metales pesados, constituye uno de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y para las especies presentes en ellos. El contenido de metales pesados en las diferentes especies de peces depende de su posición en la cadena trófica y de sus hábitos alimenticios (Mancera - Rodríguez, 2006).

Se colectó un total de treinta y un peces. El análisis de metales pesados en secciones del tejido muscular del Pez Blanco mostró que en todos los peces colectados existe una bioacumulación considerable.

Los valores promedio de concentración en tejido muscular de Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc fueron $0.051 (\pm 0.02)$, $0.71 (\pm 0.35)$, $0.616 (\pm 0.59)$, $0.96 (\pm 0.30)$, $0.91 (\pm 0.56)$ y $26.59 (\pm 25.18)$, respectivamente.

El orden de los valores promedio de concentración fueron $\text{Zinc} > \text{Mercurio} > \text{Níquel} > \text{Plomo} > \text{Cobre} > \text{Cadmio}$. Los valores del segundo muestreo fueron mayores en relación al primero, excepto para Zinc.

Las concentraciones de Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc en los peces colectados en los tres muestreos, en su mayoría se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Brazilian Food Legislation - BFL - y por la World Health Organization - WHO -, por lo que se encuentran entre lo permisible para consumo humano. Las concentraciones de Mercurio se encuentran por arriba de lo establecido por la BFL y por la WHO.

No se utilizaron normas guatemaltecas debido a que actualmente no existe ninguna que norme los límites permisibles de metales pesados en peces.

Tabla 1. *Contenido de Metales Pesados en Tejido Muscular de Pez Blanco, en peso húmedo. Primer y Segundo muestreo.*

(M1) Número de Muestreo, (SM) San Miguel, (SB) San Benito y (SE) Santa Elena.

Muestra	Cadmio Cd ug/g	Cobre Cu ug/g	Mercurio Hg ug/g	Níquel Ni ug/g	Plomo Pb ug/g	Zinc Zn ug/g
M1SE1	0.047	0.47	1.330	0.57	0.52	68.44
M1SE2	0.039	0.39	1.011	0.45	0.62	64.02
M1SE3	0.044	0.55	0.806	0.44	0.50	49.35
M1SE4	0.051	0.62	1.639	0.50	0.45	51.48
M1SB1	0.044	0.44	1.089	0.72	0.44	68.07
M1SB2	0.029	0.41	2.161	–	0.29	33.77
M1SB3	0.029	0.35	0.740	–	0.29	40.70
M1SM1	0.017	0.34	0.603	–	0.17	71.22
M1SM2	0.052	0.52	1.259	1.15	0.63	51.22
M1SM3	0.029	0.52	1.007	–	0.29	62.71
M2SB1	0.069	1.37	0.831	0.94	2.07	3.79
M2SE1	0.075	0.63	0.061	1.41	1.64	7.02
M2SE2	0.094	1.28	0.332	0.99	0.84	8.15
M2SE3	0.045	0.57	0.094	1.25	1.64	4.96
M2SM1	0.058	0.78	0.086	0.97	0.70	10.33
M2SM2	0.033	0.68	0.195	1.23	0.59	6.64
M2SM3	0.046	1.21	0.100	1.13	0.88	5.91
M2SM4	0.062	0.31	0.082	0.85	1.25	4.93
M2SM5	0.061	0.53	0.101	1.31	1.51	9.26
M2SM6	0.087	0.83	0.251	1.14	1.06	9.59
M2SM7	0.050	1.23	0.097	0.94	1.28	15.90
M2SM8	0.063	1.41	0.167	1.27	1.30	17.31
M2SM9	0.049	0.96	0.131	0.94	1.96	8.72
Promedio	0.051	0.71	0.616	0.96	0.91	26.59
Desv. Estándar	± 0.02	± 0.35	± 0.59	± 0.30	± 0.56	± 25.18

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

Tabla 2. *Contenido de Metales Pesados en Tejido Muscular de Pez Blanco del Lago Petén Itzá. Tercer muestreo.*

Muestra	Cobre (ppm)	Níquel (ppm)	Zinc (ppm)
M3P1	0.23	-	37.52
M3P2	-	-	12.83
M3P3	1.34	-	15.78
M3P4	-	-	0.965
M3P5	-	-	6.935
M3P6	-	7.29	22.06
M3P7	-	0.64	27.61
M3P8	0.42	1.02	11.60
Promedio	0.66	2.98	16.91
Desv. Estándar	± 0.59	± 3.73	± 11.74

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

Los resultados de Cadmio, Cobre, Mercurio, Plomo y algunos de Cobre y Níquel en muestras de tejido muscular de Pez Blanco del tercer muestreo no se reportan, debido a que las concentraciones de los metales en las muestras se encuentran por debajo de límite de detección del equipo utilizado.

8.1.2 Metales Pesados en Muestras de Sedimentos

Las concentraciones de Zinc en los sedimentos se encuentran por debajo de los límites establecidos por la World Health Organization - WHO -, no se tiene valores de referencia para Níquel, sin embargo, se puede observar que los valores son altos en comparación a los reportados en muestras de tejido muscular de peces.

Los resultados de Cadmio, Mercurio, Plomo y algunos de Níquel y Zinc en muestras de sedimentos no se reportan, debido a que las concentraciones de los metales en las muestras se encontraban por debajo de límite de detección del equipo utilizado.

Tabla 3. *Contenido de Metales Pesados en muestras de Sedimentos, colectadas en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.*

Muestra	Níquel (ppm)	Zinc (ppm)
<i>Aeropuerto</i>	786.86	50.30
<i>Le Pet</i>	141.19	-
<i>San Andrés</i>	-	0.045
<i>San Benito</i>	-	-
<i>San José</i>	-	-
<i>San Miguel</i>	-	0.019
<i>Santa Elena</i>	633.97	-
Promedio	520.67	16.72
Desv. Estándar	± 337.42	± 11.74

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

San Benito tiene valores de referencia de concentraciones para Cadmio (4.18 ppm), Cobre (11.08 ppm), Mercurio (19.17 ppb), Níquel (25.07 ppm), Plomo (12.52 ppm) y Zinc (59.86 ppm), según el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Las concentraciones de Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc en las muestras colectada se encuentran por debajo de los límites establecidos por la WHO, no se tienen valores de referencia para Mercurio y Níquel en sedimentos.

8.1.3 Metales Pesados en Muestras de Agua

Las concentraciones de Cobre y Níquel en muestras de agua se encuentran por arriba de lo establecido por la Environmental Protection Agency (EPA) y por el Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA), el Zinc se encuentra por debajo de los límites establecidos, excepto para Santa Elena.

Tabla 4. *Contenido de Metales Pesados en Muestras de Agua, colectadas en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.*

Muestra	Cobre (ppm)	Níquel (ppm)	Zinc (ppm)
<i>Aeropuerto</i>	4.778	7.035	-
<i>Le Pet</i>	-	-	0.030
<i>San Andrés</i>	-	-	0.067
<i>San Benito</i>	-	-	0.029
<i>San José</i>	-	16.195	0.987
<i>San Miguel</i>	-	18.402	-
<i>Santa Elena</i>	43.925	40.277	16.981
Promedio	24.35	20.48	3.62
Desv. Estándar	± 27.68	± 14.08	± 7.48

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

Los resultados de Cadmio, Mercurio, Plomo y algunos de Cobre, Níquel y Zinc en muestras de agua no se reportan, debido a que las concentraciones de los metales en las muestras se encontraban por debajo de límite de detección del equipo utilizado.

8.1.4 Talla, Peso, Sexo y Estadío Gonadal

Los valores de peso y talla fueron muy variados, se registraron valores para peso desde los 74 gr. hasta los 675 gr. Para talla se registraron valores desde los 19 cm. hasta los 38 cm. de largo y de ancho valores de 5 a 11 cm. Existe una correlación significativa entre el peso y talla ($R = 0.967$, $p < 0.05$).

El registro de sexo y estadío gonadal de las muestras de peces no se determinó debido a que algunas de las muestras eran muy pequeñas (18 cm) y por el estado de conservación de las mismas.

Sólo en los peces colectados durante el mes de abril, correspondientes al tercer muestro, se pudo establecer sexo y estadio gonadal. Para dichas muestras se estableció que en su mayoría eran hembras y con gónadas poco o casi nada desarrolladas; sólo una hembra presentó las gónadas muy desarrolladas, que corresponde a la de mayor tamaño (32 cm). Los dos machos colectados (40 y 34.3 cm) tenían un estadio gonadal no desarrollado. No se determinó si existe una correlación entre el grado de madurez de las gónadas y el tamaño del pez.

Se realizó una prueba de correlación para medir la intensidad de relación entre la variable peso (X) y la concentración de metales pesados en el tejido del Pez Blanco (Y). Los resultados muestran que no existe una correlación significativa entre el peso y la concentración de metales.

Tabla 5. *Análisis del Coeficiente de Correlación de Pearson, para las variables de peso y concentración de metales pesados en tejidos muscular de Pez Blanco, colectados en el Lago Petén Itzá.*

	Coeficiente de Correlación	<i>p</i>
<i>Cadmio</i>	0.131	0.553
<i>Cobre</i>	0.158	0.482
<i>Mercurio</i>	0.545	0.007
<i>Niquel</i>	0.092	0.704
<i>Plomo</i>	0.166	0.451
<i>Zinc</i>	0.363	0.089

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

Tabla 6. *Datos Generales de Muestras Colectadas de Pez Blanco en el Lago Petén Itzá.*

(M) Número de Muestreo, (SM) San Miguel, (SB) San Benito y (SE) Santa Elena.

(ND) No Determinado. (♀) Hembra y (♂) Macho.

Muestra	Peso (gr.)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Sexo	Estadío Gonadal
Muestreo 1					
M1SM1	267	28.5	8.5	ND	ND
M1SM2	675	38	11	ND	ND
M1SM3	221	25.5	8	ND	ND
M1SB1	266	27.5	8.5	ND	ND
M1SB2	372	30.5	9.5	ND	ND
M1SB3	164	25	6.5	ND	ND
M1SE1	386	31	9.5	ND	ND
M1SE2	75	19.5	5	ND	ND
M1SE3	107	18.5	6	ND	ND
M1SE4	164	24	7	ND	ND
Muestreo 2					
M2SB1	312	29	8	ND	ND
M2SE1	166	24	6.5	ND	ND
M2SE2	148	22.5	6.5	ND	ND
M2SE3	179	23.5	6.5	ND	ND
M2SM1	99	20	5.5	ND	ND
M2SM2	165	23	6.5	ND	ND
M2SM3	74	19	5	ND	ND
M2SM4	146	24	5.5	ND	ND
M2SM5	141	23	6	ND	ND
M2SM6	134	23	6	ND	ND
M2SM7	119	21.5	5.5	ND	ND
M2SM8	272	26.5	8	ND	ND
M2SM9	153	23.5	6	ND	ND
Muestreo 3					
M3P1	ND	27	ND	♀	2
M3P2	ND	27	ND	♀	2
M3P3	ND	30	ND	♀	2
M3P4	ND	32	ND	♀	4
M3P5	ND	40	ND	♂	1
M3P6	ND	28.9	ND	♀	2
M3P7	ND	29	ND	♀	2
M3P8	ND	34.3	ND	♂	1

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

8.2 Factores Físicoquímicos

Los resultados de las características físicas y químicas del lago Petén Itzá se describen en la Tabla 7. El pH fue ligeramente alcalino en todas las muestras con valores entre 8.18 a 8.30 unidades. Los valores de Conductividad fueron normales, alrededor de 494 uS/cm para aguas de zonas cársticas. La Temperatura del agua se encuentra entre valores de 25 a 29 grados Celsius (°C). El Oxígeno Disuelto osciló entre 6.9 a 8.4 mg/L y 94.2 a 106.6 %, lo cual refleja concentraciones normales para el desarrollo de vida acuática. Los valores de DBO y DQO son relativamente bajos, excepto en San José y Santa Elena, los valores se encuentran entre 2.03 a 3.01 mg/L y 5.62 a 19.08 mg/L, respectivamente.

Tabla 7. *Características Físicoquímicas de los Sitios de Muestreo, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá, durante los meses de noviembre de 2005, enero, abril y julio de 2006.*

Nombre	pH	Temperatura °C	Conductividad µS/cm	Oxígeno Disuelto		DBO mg/L	DQO mg/L
				%	mg/L		
<i>Aeropuerto</i>	8.18	27.1	492	100.8	7.6	2.17	11.42
<i>Le Pet</i>	8.19	25.9	539	95.3	7.3	2.03	5.62
<i>San Andrés</i>	8.28	28.4	541	100.9	7.3	2.78	7.21
<i>San Benito</i>	8.19	29.2	489	101.9	7.7	2.79	9.50
<i>San José</i>	8.30	28.5	591	94.2	6.9	2.35	19.08
<i>San Miguel</i>	8.22	28.1	540	106.6	8.4	2.46	8.83
<i>Santa Elena</i>	8.20	29.2	536	110.9	7.8	3.01	13.62
Promedio	8.22	28.1	532	101.5	7.6	2.5	10.80
Desv. Estándar	± 0.05	± 1.2	± 34	± 5.9	± 0.5	± 0.4	± 4.5

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

El color del agua en todos los sitios muestreados es verde esmeralda y presentan profundidades que van desde 1.7 metros hasta 36.3 metros. La transparencia va desde los 1.2 metros hasta los 6.3 metros (Anexo 13.1).

8.3 Sólidos

Los materiales en suspensión son indicadores de la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presente en las aguas superficiales de fuentes naturales. Para Sólidos Suspendidos se tuvo un promedio de 4 mg/L, para Sólidos Disueltos 389 mg/L y para Sólidos Totales 372 mg/L.

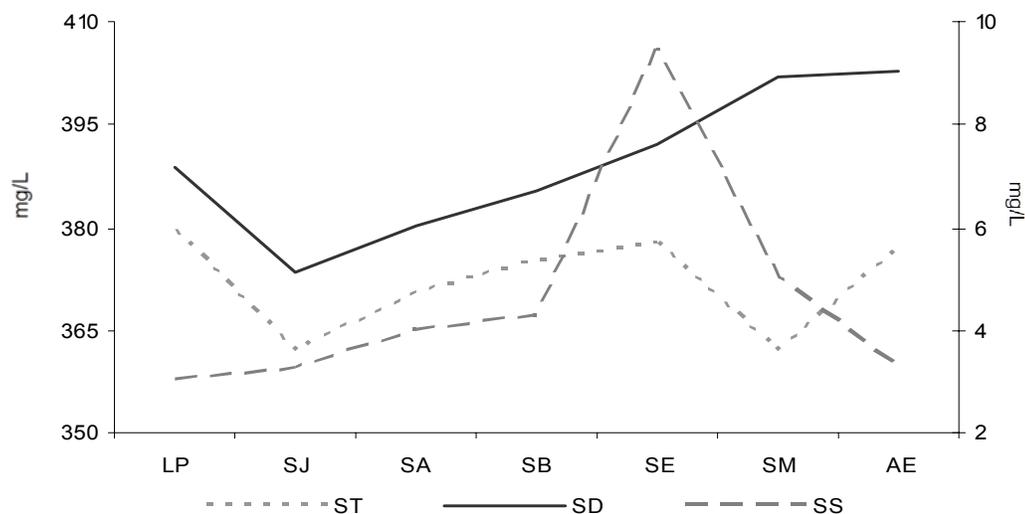
En términos generales se puede señalar que los valores obtenidos son bajos y que se mantuvieron uniformes a lo largo del estudio por lo que reflejan poca cantidad de materia contenida en el agua del lago Petén Itzá, que se debe a la materia orgánica y a las sales disueltas que provienen de formaciones cársticas, a las que corresponde el área geológica de la cuenca del Petén Itzá.

Tabla 8. Niveles de Sólidos realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá, durante los meses de noviembre de 2005, enero, abril y julio de 2006.

Nombre	Sólidos Suspendidos mg/L	Sólidos Disueltos mg/L	Sólidos Totales mg/L
<i>Aeropuerto</i>	3	403	377
<i>Le Pet</i>	3	389	380
<i>San Andrés</i>	4	380	370
<i>San Benito</i>	4	386	375
<i>San José</i>	3	373	362
<i>San Miguel</i>	5	402	362
<i>Santa Elena</i>	9	392	378
Promedio	4	389	372
Desv. Estándar	± 2	± 11	± 8

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

Figura 1. Perfil de concentraciones de Sólidos, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.



Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos (SD) y Sólidos Suspendedos (SS)

Le Pet (LP), San José (SJ), San Andrés (SA), San Benito (SB), Santa Elena (SE), San Miguel y Aeropuerto (AE)

La Environmental Protection Agency (EPA) no tiene establecida una norma para estos parámetros, excepto para Sólidos Suspendedos, estableciendo una concentración máxima de 80mg/L, por lo que se puede decir que éstos se encuentran entre lo aceptable por la EPA para aguas naturales.

8.4 Nutrientes

Los valores promedio para Nitrógeno de Amonio, Nitrógeno de Nitritos, Nitrógeno de Nitratos y Nitrógeno Total fueron 0.048, 0.004, 0.37 y 3.4 mg/L, respectivamente. Los valores promedio para Fósforo Total y Fósforo de Ortofosfatos fueron 0.089 y 0.055 mg/L, respectivamente.

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

Tabla 9. *Concentraciones de Nutrientes de los sitios de muestreo realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá, durante los meses de noviembre de 2005, enero, abril y julio de 2006.*

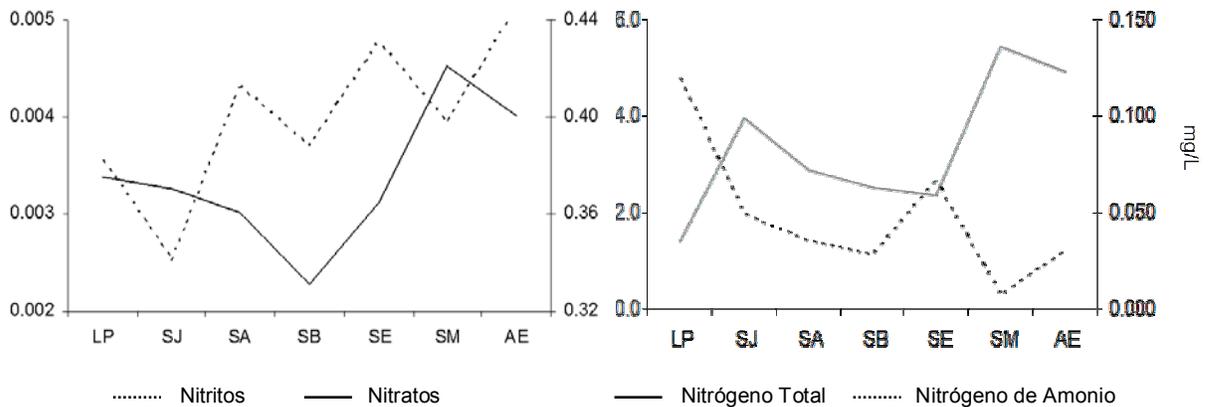
Nombre	Amonio (mg / L)	Nitritos (mg / L)	Nitratos (mg / L)	Nitrógeno Total (mg / L)	Ortofosfatos (mg / L)	Fósforo Total (mg / L)
<i>Aeropuerto</i>	0.030	0.005	0.40	4.9	0.054	0.088
<i>Le Pet</i>	0.120	0.004	0.38	1.4	0.051	0.129
<i>San Andrés</i>	0.035	0.004	0.36	2.9	0.052	0.082
<i>San Benito</i>	0.028	0.004	0.33	2.5	0.087	0.081
<i>San José</i>	0.049	0.003	0.37	4.0	0.049	0.081
<i>San Miguel</i>	0.007	0.004	0.42	5.5	0.029	0.077
<i>Santa Elena</i>	0.066	0.005	0.36	2.4	0.062	0.087
Promedio	0.047	0.004	0.37	3.4	0.050	0.089
Desv. Estándar	± 0.036	± 0.0007	± 0.03	± 1.5	± 0.017	± 0.017

Elaborado por: F. Reyes, 2007.

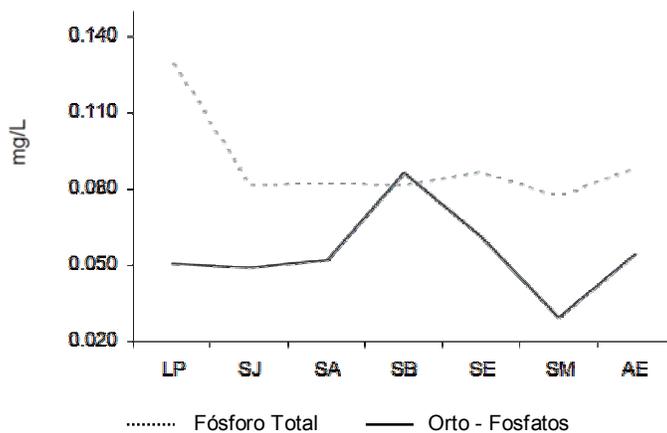
Los valores propuesto por Roldán y Wetzel para Nitrógeno de Amonio, Nitratos, Nitritos, Fósforo de Ortofosfatos y Total son: < 0.3 , < 1.0 , < 0.5 , < 0.002 y < 0.010 mg/L, respectivamente, no tienen un valor de referencia para el Nitrógeno Total.

Figura 2. *Perfiles de Concentraciones de Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.* Le Pet (LP), San José (SJ), San Andrés (SA), San Benito (SB), Santa Elena (SE), San Miguel y Aeropuerto (AE)

a. *Nitrógeno de Nitritos y Nitrógeno de Nitratos* b. *Nitrógeno Total y Nitrógeno de Amonio*



c. *Fósforo Total y Fósforo de Orto-Fosfatos*



8.5 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza a cada uno de los parámetros fisicoquímicos tomados, para comprobar si los sitios de muestreo diferían entre sí. Debido a que los datos no cumplieron los supuestos para pruebas paramétricas se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que compara tres o más muestras independientes del mismo tamaño. Los resultados mostraron que no hay una diferencia significativa entre los sitios de muestreo ($p > 0.05$).

Tabla 10. *Análisis Unilateral de Varianza de Kruskal – Wallis, entre los sitios muestreados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá ($\alpha = 0.05$).*

	Parámetro	Kruskal - Wallis	<i>p</i>
Fisicoquímicos	Temperatura	6.74	0.34
	pH	2.98	0.81
	Oxígeno Disuelto	10.17	0.12
	Conductividad	6.15	0.41
	DBO	2.94	0.81
	DQO	5.60	0.47
Sólidos	Sólidos Suspendidos	4.82	0.57
	Sólidos Disueltos	6.86	0.33
	Sólidos Totales	2.10	0.91
Nutrientes	Nitrógeno de Amonio	9.49	0.15
	Nitrógeno de Nitritos	0.84	0.99
	Nitrógeno de Nitratos	0.17	0.99
	Nitrógeno Total	4.72	0.58
	Fósforo de Orto – Fosfatos	1.71	0.94
	Fósforo Total	1.96	0.92

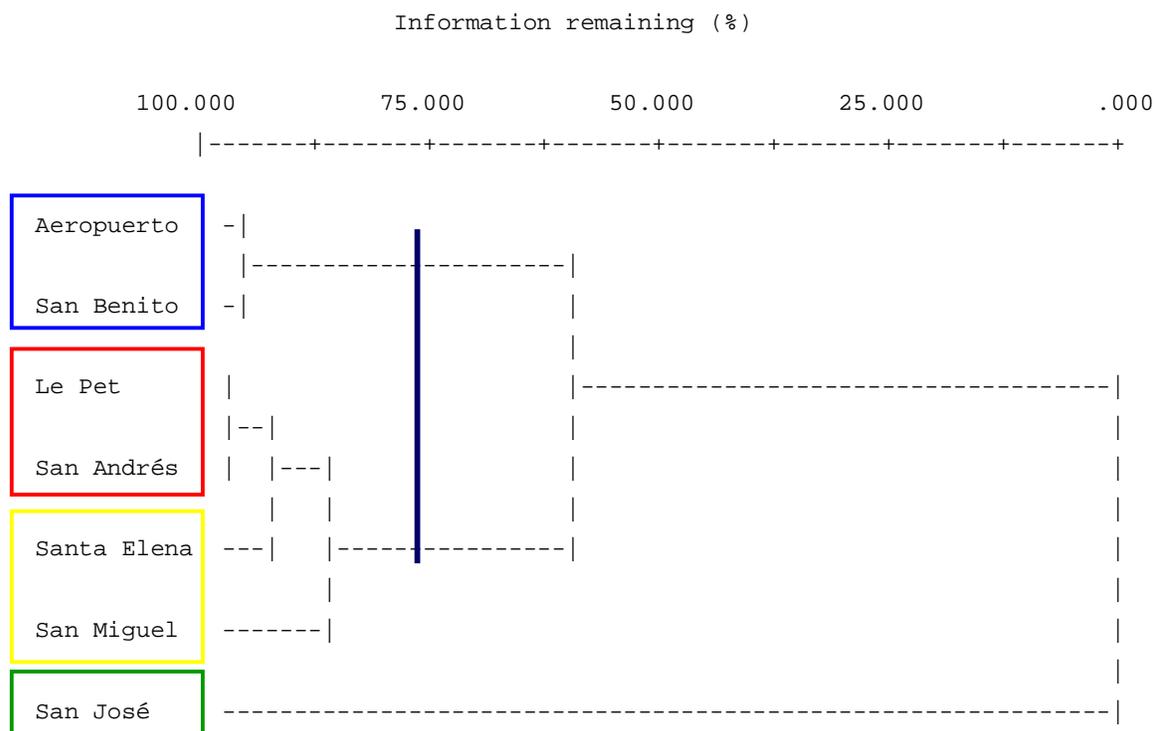
Elaborado por: F. Reyes, 2007.

8.6 Agrupamiento y Ordenación de los Sitios de Muestreo

Los resultados del análisis de agrupación y de ordenación se complementan entre sí y fueron aplicados a los parámetros de calidad de agua evaluados en cada sitio de muestreo. Estos reflejan la formación de grupos que indican la existencia de semejanza en composición fisicoquímica del lago Petén Itzá.

La Figura 3 formó cuatro grupos que se unen por arriba de la distancia euclidiana relativa del 75%, en el primer clado se agrupan los sitios de San Benito y al Aeropuerto, el segundo y tercer clado agrupan a Le Pet - San Andrés y San Miguel - Santa Elena, respectivamente, y el último clado agrupa al sitio de San José.

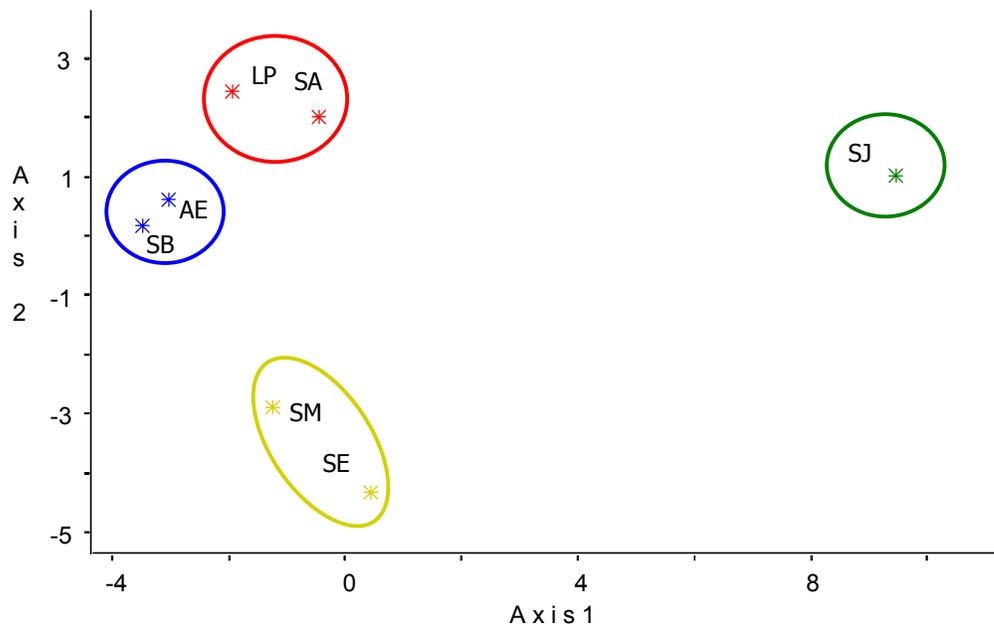
Figura 3. *Análisis de Agrupamiento de los sitios de muestreo, utilizando valores Fisicoquímicos del agua, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.*



El diagrama de ordenación en la Figura 4 complementa el análisis de agrupamiento y manifiesta que los sitios de muestreo se distribuyen en cuatro grupos. Los grupos que se integraron corresponden a los mismos que se formaron en el análisis de agrupamiento.

Figura 4. *Análisis de Ordenación de los sitios de muestreo, utilizando valores Fisicoquímicos del agua, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.*

Le Pet (LP), San José (SJ), San Andrés (SA), San Benito (SB), Santa Elena (SE), San Miguel y Aeropuerto (AE)



IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.1 Metales Pesados

9.1.1 Metales Pesados en Tejido Muscular de Pez Blanco

Los peces tienen una alta capacidad de almacenar sustancias químicas en su organismo en comparación con la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación. Esto implica también que su consumo se pueda convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.

El análisis de metales pesados en secciones del tejido muscular del Pez Blanco muestra que existe una bioacumulación considerable de Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc, pero los niveles detectados en las muestras analizadas se encuentran entre lo permisible para consumo humano, según la Brazilian Food Legislation y la World Health Organization.

Sin embargo, el mercurio se encuentra por arriba de los límites establecidos ($\bar{x} = 0.616 \mu\text{g/g}$), debido a que tiene una alta tendencia de bioacumulación en organismos acuáticos, por su estabilidad, solubilidad en lípidos y facilidad de atravesar membranas en todo el organismo (Calza et al., 2005; Sánchez et al., 2005).

No se pudo determinar si las concentraciones de metales pesados en tejido muscular de Pez Blanco, son diferentes en la época de lluvia y en la época seca, debido a que las muestras colectadas corresponden a una sola época. Estudios realizados entre los años de 1995 y 1996 en la región de Mojana, Colombia, han demostrado que las concentraciones de algunos metales muestran similitudes tanto en la época lluviosa como en la época seca, indicando que la bioacumulación es del mismo orden (Mancera-Rodríguez, 2006).

Es importante considerar que una fracción de los metales pesados se encuentra en el medio de forma disponible, por lo que su ingreso a la cadena trófica es más fácil y por consiguiente sufrirán un proceso de biomagnificación en cada etapa de la cadena, hasta llegar al ser humano, en donde representa un riesgo para la salud.

9.1.2 Metales Pesados en Muestras de Sedimentos

Los factores bióticos y abióticos pueden afectar el grado de bioacumulación de metales pesados en peces. Muchos metales tienden a precipitarse en el fondo, donde las concentraciones son a veces superiores a las encontradas en la columna de agua, por lo que poseen una alta capacidad de bioacumularse en organismos acuáticos, los cuales posteriormente pueden tener efectos adversos a la salud humana.

Las altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos, pueden deberse al origen geológico del lago, ya que los metales pueden estar presentes en calizas, dolomitas, yesos y otro tipo de rocas que puedan contener en su estructura metales pesados y que son liberados en el medio (Iturralde-Vinent, 2001).

La importancia de analizar muestras de sedimentos es debido al rol que juegan en la cadena alimenticia, ya que del fondo del lago se alimentan muchos peces detritívoros que a su vez son presas del Pez Blanco, esto explica la biomagnificación de algunos metales.

9.1.3 Metales Pesados en Muestras de Agua

La importancia que tiene el agua en este estudio, es la capacidad del medio de diluir la concentración de metales pesados. Son pocos los registros que se tienen de metales pesados en muestras de agua, pero la presencia de algunos metales en muestras de peces y de sedimentos sugieren que el agua del lago Petén Itzá se encuentra contaminada, de acuerdo a las normas establecidas por la Environmental Protection Agency - EPA - y por el Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA) para aguas naturales.

Las aguas residuales provenientes de poblaciones cercanas son descargadas directamente en el lago y no reciben un tratamiento adecuado, lo que podría incidir en la contaminación del agua, sin embargo, habría que caracterizar las aguas residuales para establecer bien si la contaminación es debido a esto o a la biogeoquímica del lugar.

Además se asume que existe una correlación directa entre las variables, es decir, que al estar presente en una muestra (tejido muscular de pez, agua o sedimentos) estará presente en las otras dos.

9.1.4 Talla, Peso, Sexo y Estadío Gonadal

Existe una correlación significativa de acuerdo a los resultados entre el peso y talla de los peces colectados en el lago Petén Itzá. La relación entre el estadío gonadal y sexo de los peces, no se pudo determinar debido a:

1. El tamaño de las muestras colectadas, pues los órganos no se encontraban totalmente desarrollados,
2. La determinación se realizó luego de haber tomado la muestra de tejido muscular que se iba a analizar, por lo que gran parte del pescado se destruyó, y
3. El alto grado de lisis de los tejidos reproductores, debido al método de conservación de las muestras (congelamiento).

Según los resultados obtenidos del análisis de correlación lineal, no existe una relación entre la cantidad de acumulación de metales pesados en tejido muscular y las variables de largo y ancho.

Este estudio no logró establecer si existe una relación entre el grado de acumulación de metales pesados y la edad, sexo y estadío gonadal del Pez Blanco. Otros estudios señalan que los individuos jóvenes tienden a acumular más sustancias que los adultos debido a que tienen mayor actividad. Así mismo, se hace referencia a que las hembras acumulan más metales que los machos, debido a la capacidad que tienen las hembras de inducir proteínas que fijan los metales pesados en el organismo (Calza et al., 2005).

9.2 Parámetros Fisicoquímicos

La calidad fisicoquímica del agua del lago Petén Itzá, se determinó por medio de los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Transparencia, Sólidos Disueltos, Suspendidos y Totales, Nutrientes y finalmente Metales Pesados, en siete sitios de muestreos: Aeropuerto, Le Pet, San Andrés, San Benito, San José, San Miguel y Santa Elena (Anexo 13.1).

El *pH* en las aguas superficiales de los cuerpos de aguas naturales debe encontrarse en un intervalo de 6.5 - 9.0 en unidades de pH (EPA, 1986). Como puede observarse en la Tabla de resultados No. 7 los promedios obtenidos en los 4 muestreos se encuentran dentro de dicho intervalo. En ningún muestreo se registró un valor extremo próximo al límite superior. Todos los valores se encontraron alrededor de 8.22 lo cual indica que el medio se encuentra alcalino. Esto es una característica de la región, debido a que los suelos de Petén son cársticos y presentan grandes cantidades de carbonatos (Anexo 13.2.a).

La *Temperatura* para aguas naturales debe encontrarse en un intervalo de 15 a 32°C (EPA, 1986). Se obtuvieron en general temperaturas promedio de 25.9 hasta 29.2 grados, por lo que los valores se encuentran entre los límites aceptables, además se observó poca variación sobre la tendencia en el valor de temperatura. Es importante considerar que la temperatura depende de la radiación solar y de la temperatura del aire, por lo que la variación de los valores depende del momento en el cual se tomó la muestra (Anexo 13.2.b), en este estudio las mediciones se realizaron a lo largo del día.

La Temperatura y el pH son parámetros muy importantes, la variación de uno de ellos puede provocar el desequilibrio de reacciones químicas, ocasionando que los productos obtenidos presenten una alta toxicidad para peces y otros organismos acuáticos.

La *Conductividad* se traduce como la concentración de sales disueltas en el medio. La conductividad está estrechamente relacionada con el tipo de sales presentes, Temperatura, pH y en general todas las condiciones que pueden afectar la solubilidad. La Conductividad en cuerpos de agua dulce debe ser menor de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldán, 1992). Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores normales para aguas naturales de sistemas cársticos (Anexo 13.2.c).

El intervalo mínimo establecido de *Oxígeno Disuelto* en cuerpos de agua naturales es de 3 - 5 mg/L (EPA, 1986; Roldán, 1992). Los resultados obtenidos muestran que las aguas superficiales del lago Petén Itzá están bien oxigenadas, debido a que son valores mayores a 6.9 mg/L, lo cual corresponde a un porcentaje de saturación de 94.2 %. El valor más alto que se registró fue en San Miguel con 8.4 mg/L que corresponde al 106.4% de saturación (Anexo 13.2.d).

Los niveles de saturación de Oxígeno Disuelto en el agua superficial mostraron un nivel adecuado para la vida acuática. La cantidad presente de oxígeno en un momento determinado depende de la interacción del oxígeno proveniente de la atmósfera y de los procesos fotosintéticos que en el agua se lleven a cabo. Se debe tener en cuenta el consumo de oxígeno en las reacciones producto de los procesos de biodegradación.

La *Demanda Biológica de Oxígeno* es el producto de la transformación de la materia oxidable tanto orgánica como biológica en CO₂ y H₂O. Además se refiere a la cantidad de oxígeno que la biota presente en el agua requiere para consumir la materia orgánica. El valor máximo establecido es de 3 mg/L para agua naturales dulces (CONAMA, 2006). Los valores promedio de DBO se encuentran entre 2.03 y 3.01 mg/L, los registros muestran poco consumo de oxígeno, producto de la descomposición de materia orgánica.

El valor más alto está registrado para Santa Elena, debido a la presencia de vegetación acuática como Tzil (*Vallisneria americana*) y Ninfa (*Eichornia crassipes*) (Anexo 13.3), por lo que hay una alta degradación de material orgánico, aumentando la tasa de consumo de oxígeno a 3.01 mg/L (Anexo 13.2.e).

La *Demanda Química de Oxígeno* es el producto de la oxidación de la materia orgánica e inorgánica de forma química la cual consume cierta cantidad de oxígeno, por lo que se puede decir, que un valor alto de la DQO indica una gran cantidad de materia que puede oxidarse y a su vez consumir altas concentraciones de oxígeno. Los valores promedio se encuentran entre 5.6 a 19.1 mg/L, los valores máximos registrados fueron para San José, Santa Elena y Aeropuerto, esto debido a la presencia de vegetación acuática. La Environmental Protection Agency (EPA) no ha establecido un valor para la medición de este parámetro (Anexo 13.2.f).

9.3 Sólidos

Los *Sólidos Suspendidos* se interpretan como la cantidad de partículas que no sedimentan. La Environmental Protection Agency (EPA) ha establecido como normativa para la medición de este parámetro un valor máximo de 80 mg/L. En los muestreos efectuados puede observarse que ninguno de los sitios pasó el límite. El valor más alto fue de 9 mg/L, correspondiente al sitio de Santa Elena (Anexo 13.2.g). Esto se debe a una alta concentración de vegetación acuática en el sitio, vertido de aguas residuales, descomposición de materia orgánica, lo que incrementa la presencia de partículas no sedimentables.

Los *Sólidos Disueltos* son la materia soluble presente en el cuerpo de agua, el valor máximo establecido es de 500 mg/L (CONAMA, 2006). Los valores obtenidos se encuentran por debajo de este valor, el valor máximo registrado fue de 403 mg/L que corresponde al Aeropuerto, sin embargo no es significativo (Anexo 13.2.h).

Los *Sólidos Totales* son indicadores de la cantidad total de materia orgánica y materia inorgánica presente en las aguas superficiales, producto del arrastre de materia del suelo y turbulencia que provoca la resuspensión de sedimentos. El intervalo establecido para aguas naturales es de 300 - 400 mg/L (APHA, 1998). Los valores registrados se encuentran entre 362 - 380 mg/L, lo cual muestra poca cantidad de materia contenida en el agua. Entre los sitios de muestreo se observó bastante homogeneidad en los valores promedio, Le Pet fue el único sitio que presentó el valor máximo, esto debido a la alta deposición de materia vegetal, como Tul (*Typha dominguensis*) y otros pastos (Anexo 13.2.i).

En términos generales se puede mencionar que el agua superficial del lago Petén Itzá no presenta elevadas concentraciones de dichos sólidos, ya que los procesos de sedimentación ocurren en la profundidad del cuerpo de agua.

9.4 Nutrientes

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

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

Los valores registrados en los muestreos de los derivados del nitrógeno no sobrepasan el límite establecido por CONAMA, por lo que se puede considerar que el lago Petén Itzá se encuentra en un estado oligotrófico para estos parámetros, pues los valores máximos registrados para Amonio, Nitritos, Nitratos y Nitrógeno Total son de 0.120 mg/L, 0.05 mg/L, 0.42 mg/L y 5.5 mg/L respectivamente (Anexo 13.2.j, a 13.2.m). Según las normativas de la Environmental Protection Agency - EPA - los valores reportados en este estudio se encuentran entre lo permisible.

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

Los valores máximos registrados para Fósforo de Ortofosfatos y Fósforo Total son de 0.087 mg/L y 0.129 mg/L, ambos registros sobrepasan los límites establecidos por CONAMA y por Roldán (1992), lo que indica que han ocurrido eventos extraordinarios de contaminación que pueden ocasionar eventualmente, que el lago llegue a un estado eutrófico, producto de la presencia de comunidades en sus cercanías, donde usualmente vierten aguas residuales y/o se ubican lavaderos comunales a orillas del lago, además del desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas (Anexo 13.2.n y o).

En base al análisis estadístico que se le realizó a los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, se encontró que no existe diferencia significativa alguna entre los puntos de muestreos ($p > 0.05$). Debe tomarse en consideración que se usó una prueba no paramétrica. Una prueba paramétrica no es muy robusta para detectar diferencias pequeñas entre las muestras.

Sin embargo, el análisis de agrupación y ordenamiento separó y agrupó a algunos sitios. San José es separado del resto de sitios, probablemente por sus características batimétricas, tiene profundidades por arriba de los 150 metros, por lo que hay una mayor dilución de los contaminantes que provienen de la actividad humana al lago (Figura 4).

La relación que existe entre el Aeropuerto y San Benito es la correlación positiva entre los factores de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y profundidad que los separa del resto de sitios. La relación que existe entre Le Pet, San Andrés, San Miguel y Santa Elena es la variación mínima de sus características fisicoquímicas, debido a la proximidad entre ellos, además del tipo de sustrato y la profundidad, que no sobrepasa los 5 metros, excepto San Andrés.

Asimismo, en todos los sitios muestreados existe una alta densidad de vegetación acuática (*Pistia stratiotes*, *Typha dominguensis*, *Valisneria americana*), excepto en San José, esto puede ser otra razón por la cual este sitio se separa del resto de los sitios muestreados. Las características de cada sitio de muestreo depende del grado de contaminación y la presión antropogénica al cual este sometido cada uno.

9.7 Situación general del Lago Petén Itzá

Las concentraciones de los metales pesados tales como Cadmio, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc se encontraron por debajo de los límites permitidos para consumo humano, normado por la World Health Organization. Se determinó que las principales fuentes de contaminación provienen de actividades humanas y de eventos de naturaleza geológica que significan riesgos potenciales para la salud humana.

Los datos reflejan que las condiciones que prevalecen en el agua del lago Petén Itzá lo sitúan en un estado mesotrófico - oligotrófico y que se mantienen espacialmente. Fueron pocos los parámetros que se encontraron por encima de los límites establecidos para aguas naturales de la Environmental Agency Protection - EPA -.

Sin embargo, existe contaminación puntual proveniente de las descargas de aguas residuales por los poblados aledaños a la cuenca, lo que fue evidente por la presencia de ninfa (*Eichornia crassipes*), la cual se caracteriza por crecer en zonas de descarga. Se identificaron diferentes fuentes de contaminación como la descarga de aguas residuales, actividad agrícola, pastoreo de animales y deforestación. El acrecentamiento de poblaciones humanas ha provocado un incremento de la contaminación en el lago Petén Itzá. De continuar esta tendencia el agua del lago, en pocos años se encontrará completamente en un estado eutrófico.

X. CONCLUSIONES

1. Existe una relación positiva entre los niveles de contaminación del agua del lago Petén Itzá y el nivel de bioacumulación de metales pesados en tejido muscular del Pez Blanco (*Petenia splendida*).
2. Las concentraciones de Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc en los peces colectados en su mayoría se encuentran entre lo permisible para consumo humano, aproximadamente el 15 % de los peces colectados sobrepasan los límites establecidos por la World Health Organization - WHO - y por la Brazilian Food Legislation - BFL -.
3. Las concentraciones de Mercurio en los peces colectados en su mayoría (60 %) se encuentran por arriba de lo permisible para consumo humano.
4. La presencia de metales pesados en las variables de agua, sedimentos y tejido muscular de Pez Blanco mostró que existe una relación directa entre ellos.
5. No se logró determinar si existe una correlación directa entre la talla y los valores encontrados de metales pesados en tejido muscular de los peces capturados.
6. Las condiciones que prevalecen en el agua del lago Petén Itzá lo caracterizan como estado mesotrófico – oligotrófico, mostrando que las mismas se mantienen espacialmente.
7. Los sitios que presentaron mayor contaminación en el lago Petén Itzá son el Aeropuerto, San Benito y Santa Elena, debido a sus características fisicoquímicas y a sus altas densidades poblacionales.
8. Se considera que las principales fuentes de contaminación en el lago Petén Itzá son las siguientes actividades: descarga de aguas residuales, agricultura, ganadería, deforestación y crecimiento de las poblaciones humanas.

XI. RECOMENDACIONES

- Comparar concentraciones de metales pesados en peces de hábitos carnívoros, herbívoros, planctívoros y detritívoros, pues la probabilidad de bioacumulación en estos peces varía según su hábito alimenticio y su nivel en la cadena alimenticia.
- Analizar en otras especies de peces el grado de bioacumulación de metales pesados, para tener un mayor conocimiento de la dinámica de estas sustancias en los cuerpos de agua.
- Analizar presencia de metales pesados en otros tejidos tales como piel, grasa, gónadas, órganos internos, escamas, entre otros, con la finalidad de comparar la capacidad de bioacumulación de cada tejido.
- Establecer si existe una relación entre el grado de acumulación de metales pesados y la edad, sexo y estadio gonadal en peces.
- Considerar en estudios posteriores el grado de bioacumulación de metales pesados por el fitoplancton y vegetación acuática en el lago Petén Itzá.
- Relacionar los fenómenos de bioacumulación y biomagnificación de las concentraciones de metales pesados a medida que ascienden en la cadena trófica.
- Evaluar otros parámetros de calidad fisicoquímica en el lago Petén Itzá para establecer medidas que permitan comprender e interpretar mejor la situación actual.
- Considerar en estudios posteriores otros indicadores de eutroficación tales como análisis bacteriológicos, determinación de fitoplancton y vegetación acuática en el lago Petén Itzá.

- Para establecer los riesgos que existen por la persistencia en los ecosistemas de sustancias tóxicas es necesario continuar obteniendo información acerca de la distribución en el medio ambiente y sus concentraciones en agua, sedimentos y peces, para establecer las tendencias a futuro con la finalidad de tomar las medidas necesarias para evitar problemas de salud en la población.
- Establecer un programa de monitoreo permanente de la calidad del agua del lago Petén Itzá, el cual deberá incluir idealmente mediciones mensuales de los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, además de comparaciones entre época seca y lluviosa.
- Establecer un programa de educación ambiental con las comunidades y poblaciones aledañas al lago Petén Itzá, con la finalidad de mejorar la calidad fisicoquímica del agua.
- Tener un control por parte de las municipalidades sobre los vertidos domésticos hacia el lago, para reducir los impactos ambientales.
- Revisar la legislación y reglamentación existente a nivel nacional en el tema de la regulación de las sustancias químicas utilizadas en el país, con la finalidad de crear impuestos o sanciones económicas por concepto de emisión descontrolada de estas sustancias.

XII. REFERENCIAS

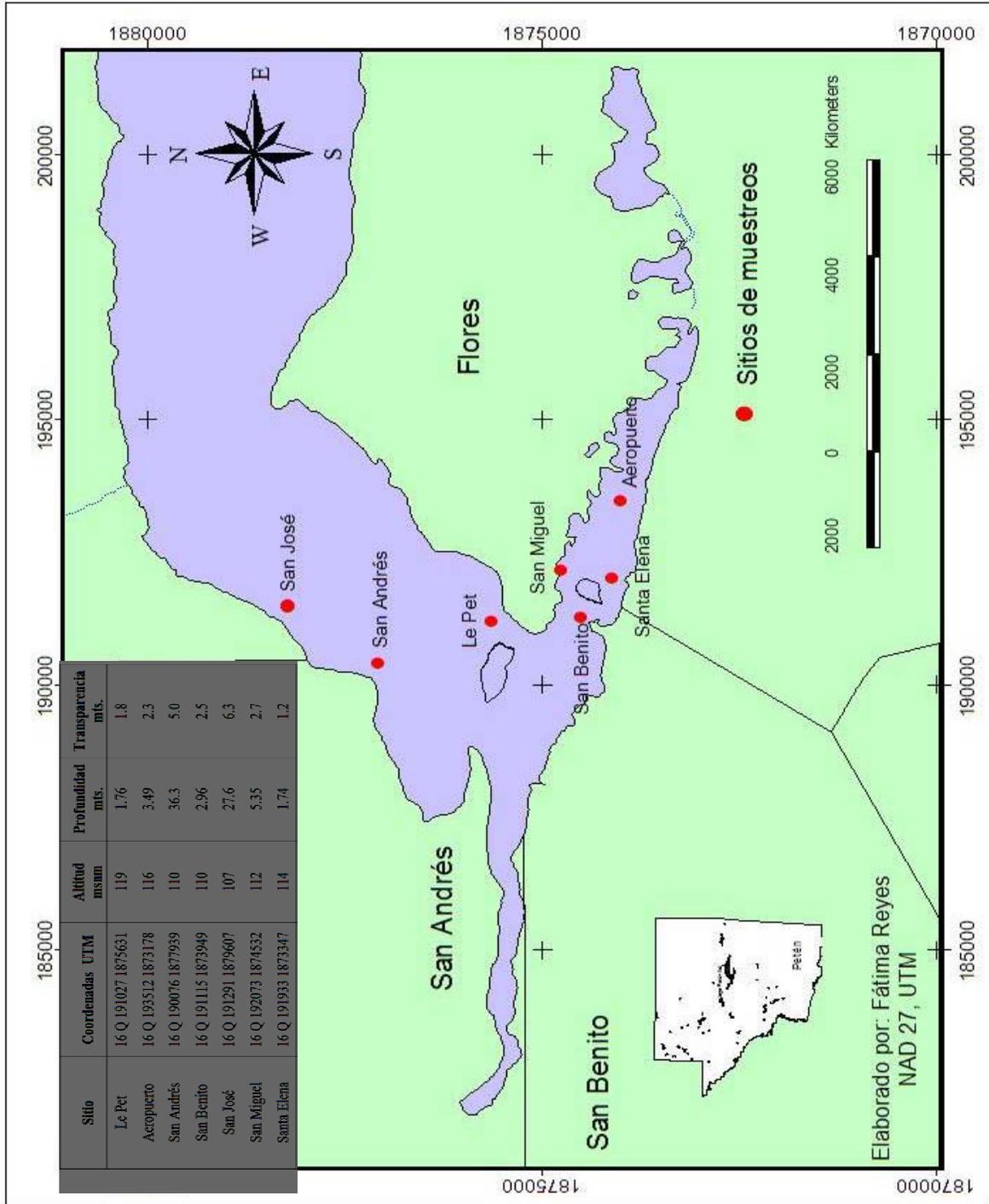
- APHA, AWWA and WPCF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 20th Edition. United Book Press. U.S.A.
- Barrenetxea, C.; Pérez, A.; Gonzáles, M.; Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2003 *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. Thomson Editores Spain. España. Pág. 31 – 293.
- Bastarrechea, M. 1988. *Limnología del Lago Petén Itzá, Guatemala*. Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. Revista Biología Tropical 36 (1). Pág. 123 – 127.
- BOE *Ministerio de Sanidad y Consumo (BOE N. 195 de 15/8/1991)* Orden de 2 de agosto de 1991 por la que se aprueban las normas Microbiológicas, los límites de contenido en Metales Pesados y los Métodos Analíticos para la determinación de metales pesados para los productos de la pesca y de la acuicultura. España. Pág. 27153 - 27155
- Calderón, C. 1997. *Serie Autodidáctica en Materia de Normas Técnicas Relacionadas con la Inspección y Verificación*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México
- Calza, C.; Oliveira, M.; Jos Anjos, M.; Arajo, F. y Lopes, R. 2005. Heavy Metals Levels in Tissues of Brazilian Fishes Using Total Reflection X-Ray Fluorescence with Synchrotron Radiation (SRTXRF). XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ichmet. Río de Janeiro CETEM/MTC
- COGUANOR. 2000. *Norma Obligatoria Guatemalteca de Agua Potable. NGO 29.001.98 Ira. Revisión. Especificaciones*. Pág. 20
- CONAMA Consejo Nacional de Medio Ambiente. 2006. Resoluciones de Calidad de Agua. Resolución CONAMA No. 357, de 17 de marzo de 2005. Brasil. Pág. 259 – 282.
- CONAP Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 2001. Listado de especies de Fauna Silvestre Amenazada de Extinción. Lista Roja de Fauna. Resolución No. ALC/039-99.

- Conkel, D., 1993. *Cichlids of North and Central America*. T.F.H. Publications, Inc., USA. Pág. 186
- Dix, M. y Hernández, J. 2001. *Inventario Nacional de los Humedales de Guatemala*. San José, Costa Rica: UICN – Mesoamérica. CONAP. USAC. Pág. 176.
- EPA. 1986. Environmental Protection Agency. *Gold Book of Quality Criteria for Water*. EPA 440/5-86-001. USA. Pág. 477.
- Faial, K., Brabo, E., Lima, M., Santos, E., Jesus, I., Mendes, R. y Mascarenhas, A. 2005. *Correlation between the Selenium and Mercury Levels in Fish of the State of Acre, Amazonian, Brazil*. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ichmet. Río de Janeiro CETEM/MTC
- Iturralde - Vinent, M. 2001. *Los Riesgos Naturales de Origen Geológico: Causas y Consecuencias*. Museo Nacional de Historia Natural. La Habana, Cuba. Pág. 9.
- Jonna, R. 2004. "Cichlidae" (On-line), *Animal Diversity Web*. Accessed November 07, 2006 at <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Cichlidae.html>.
- Kihn, H. 2006 Comunicación personal. Peces del Lago Petén Itzá.
- Krebs, J. 1999. *Ecological Methodology*. Second edition. Universidad of British Colombia. Pp. 375-399.
- Mancera - Rodríguez, N. y Álvarez - León, R. 2006. *Estado del conocimiento de las concentraciones de Mercurio y otros Metales Pesados en Peces Dulceacuícolas de Colombia*. Acta Biológica Colombiana. Vol. 11. No. 1 Pág. 3 - 23.
- Margalef, R. 1983 *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona.
- Morales, J. 2006 Comunicación personal. Vegetación Acuática del Lago Petén Itzá.

- Oliva, B. 2005. *Contaminación en el Lago Petén Itzá*. Proyecto No. 20-2002 de la línea del Fondo Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología - FODECYT -. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Pág. 115.
- Oliva, B. 2007. El Pez Blanco (*Petenia splendida*) y la Contaminación en el Lago Petén Itzá. Proyecto 49-2004 de la línea del Fondo Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología – FODECYT-. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. (En Impresión)
- Padín, O. y Iriart, N. 2003. *Limnología. Guía de trabajo práctico*. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Pág. 123 – 125.
- Pape, E. 2002. *Valor Económico del Lago Petén Itzá: Problemas y oportunidades*. FLACSO. Editorial de Ciencias Sociales, S. A. Guatemala. Pág. 160.
- Roldán, G. 1992 *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. Pág. 527.
- Sánchez, J., Esbrí, J., Higuera, P. y Oyarzun, R. 2005. *Mercury Contents in Fish and Crayfish from the Valdeazogues River, Almaden, Spain*. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ichmet. Río de Janeiro CETEM/MTC
- Seixas, T., Kehrig, H., Moreira, I. y Malm, O. 2005. *Heavy Metals and Selenium in the Muscle Tissues of two Coastal Brazilian Fishes*. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ichmet. Río de Janeiro CETEM/MTC
- Wetzel, R. 2005. *Limnology*. W. B. Saunders Company. USA. Pág. 743.
- WHO World Health Organization. 1996. *Environmental Health Criteria*. Segunda Edición. Ginebra. 1998. Cooper (EHC 200), Cadmiun (EHC 135), Zinc (EHC 221), Nickel (EHC 108), Lead (EHC 03) and Mercury (EHC 01).

XIII. ANEXOS

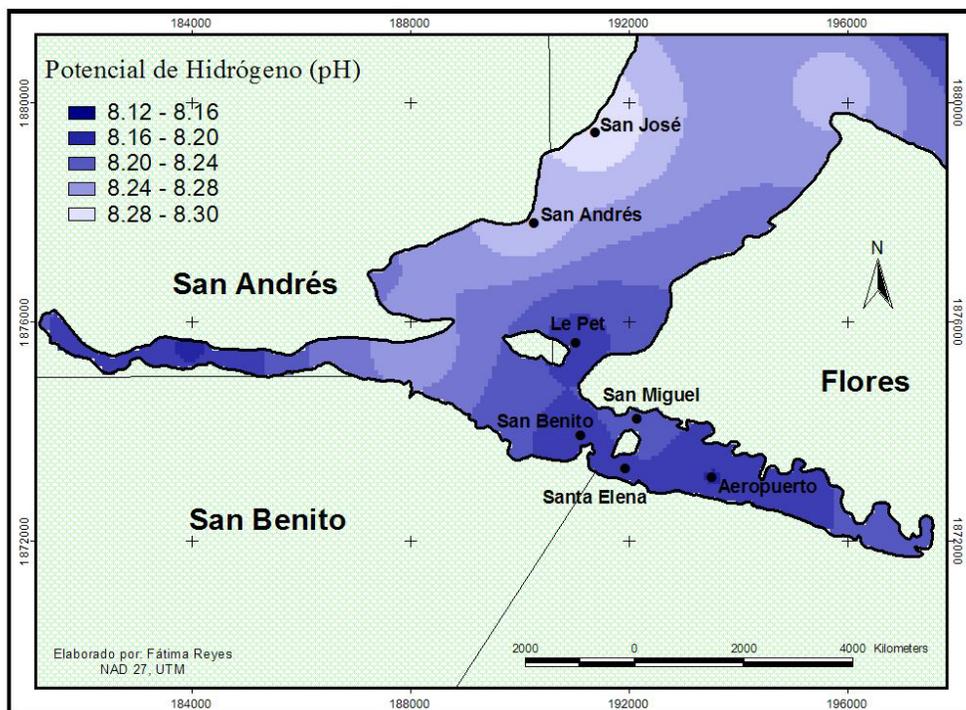
13.1 Mapa de Puntos de Muestreo Ubicados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá



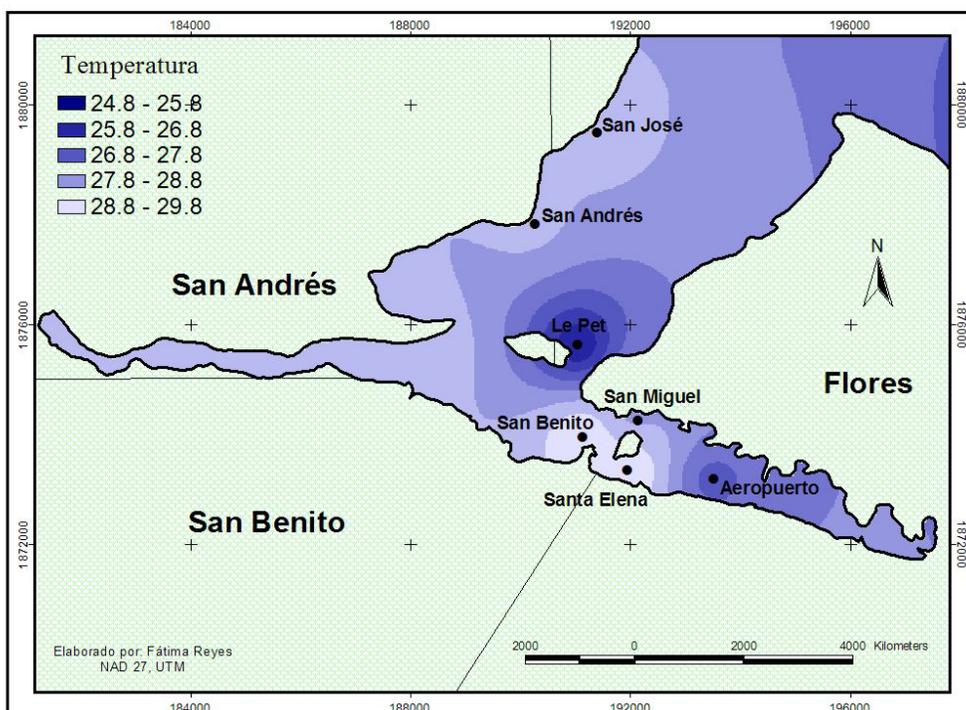
Fuente: Datos de Campo, 2007

13.2 Mapas de Distribución de Concentraciones de Parámetros Físicoquímicos, Sólidos y Nutrientes, en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.

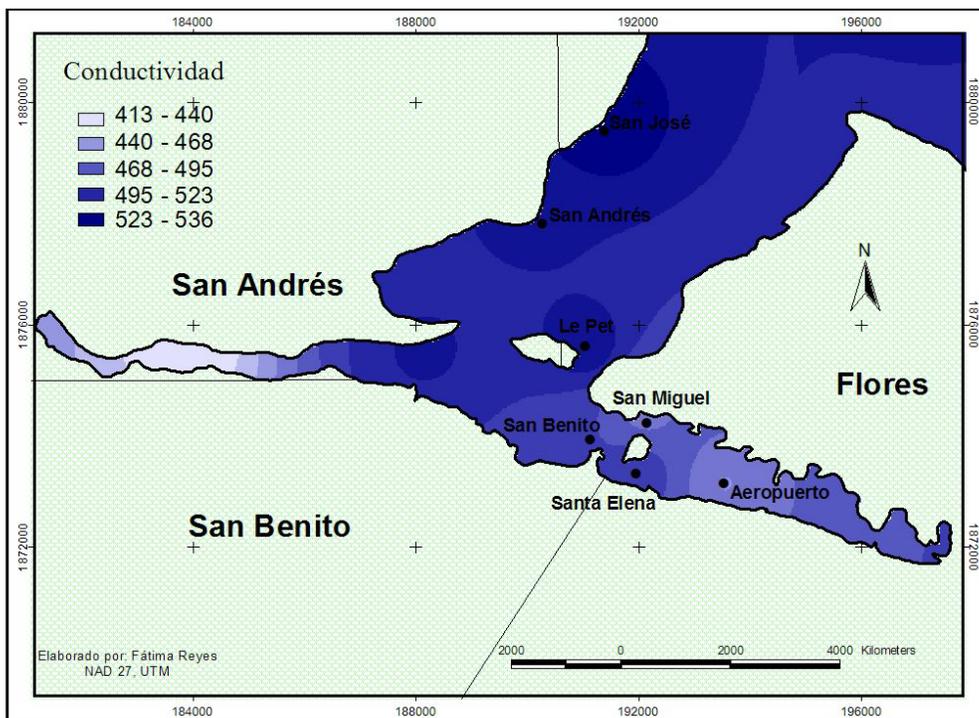
a. Potencial de Hidrógeno



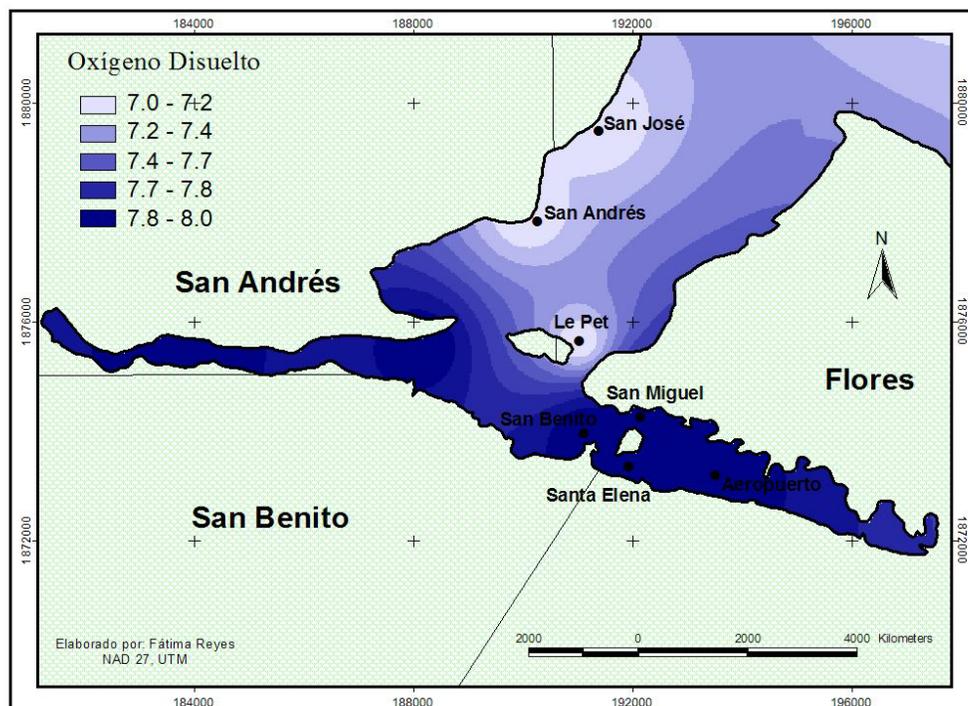
b. Temperatura



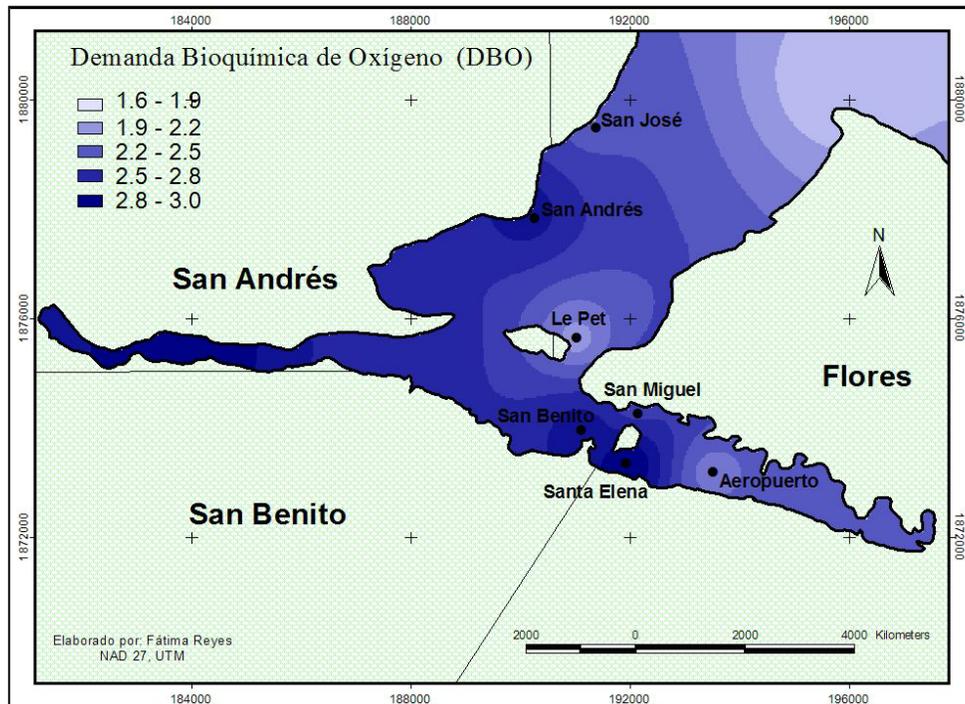
c. Conductividad



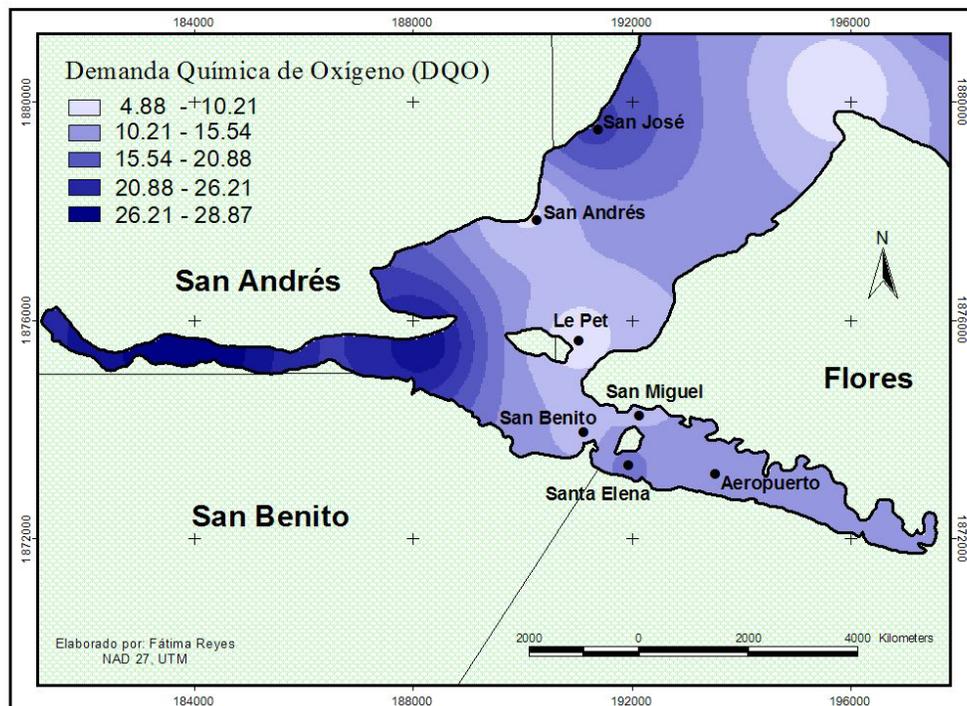
d. Oxígeno Disuelto



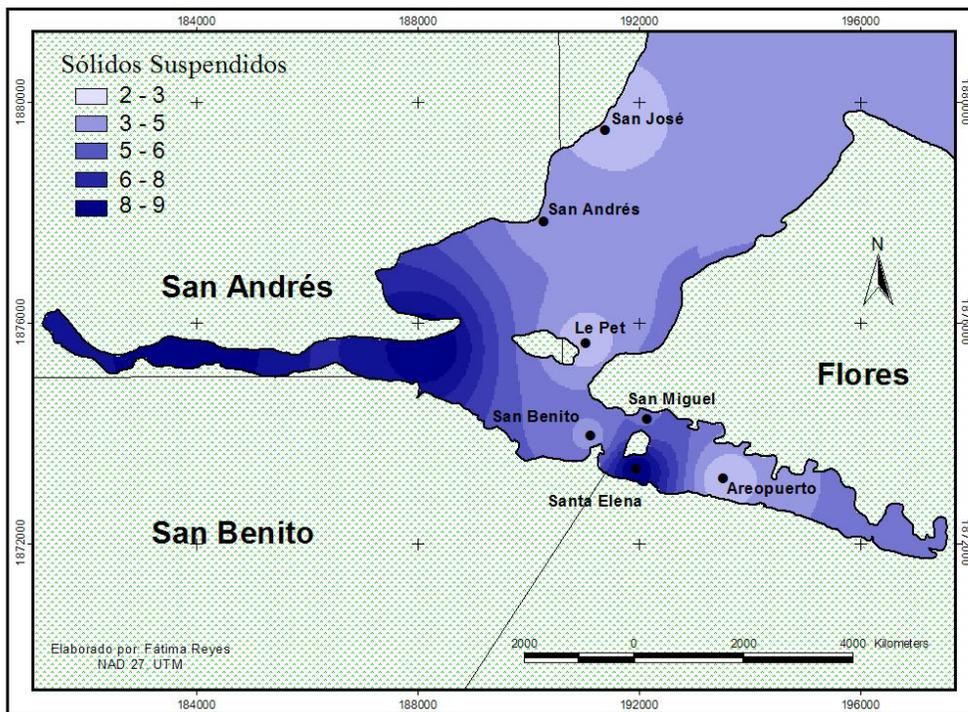
e. Demanda Bioquímica de Oxígeno



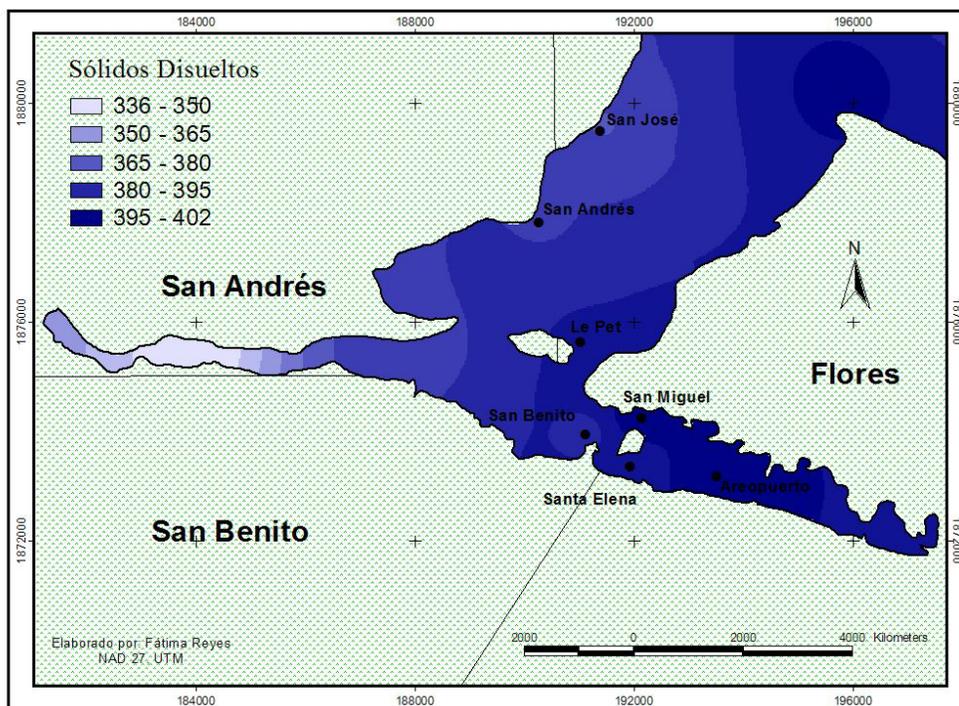
f. Demanda Química de Oxígeno



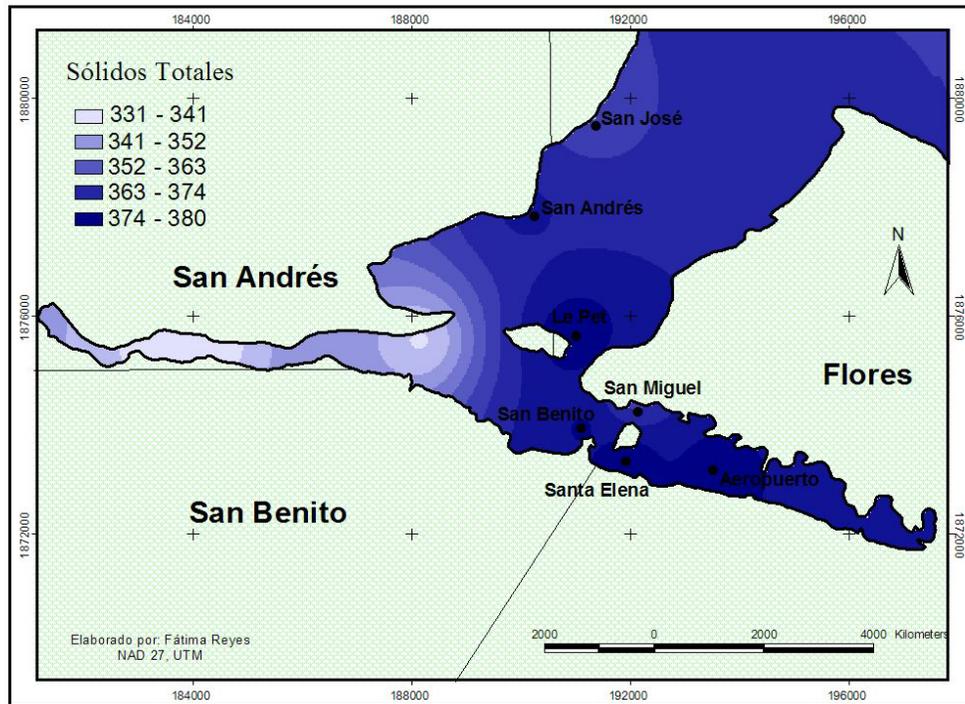
g. Sólidos Suspendedos



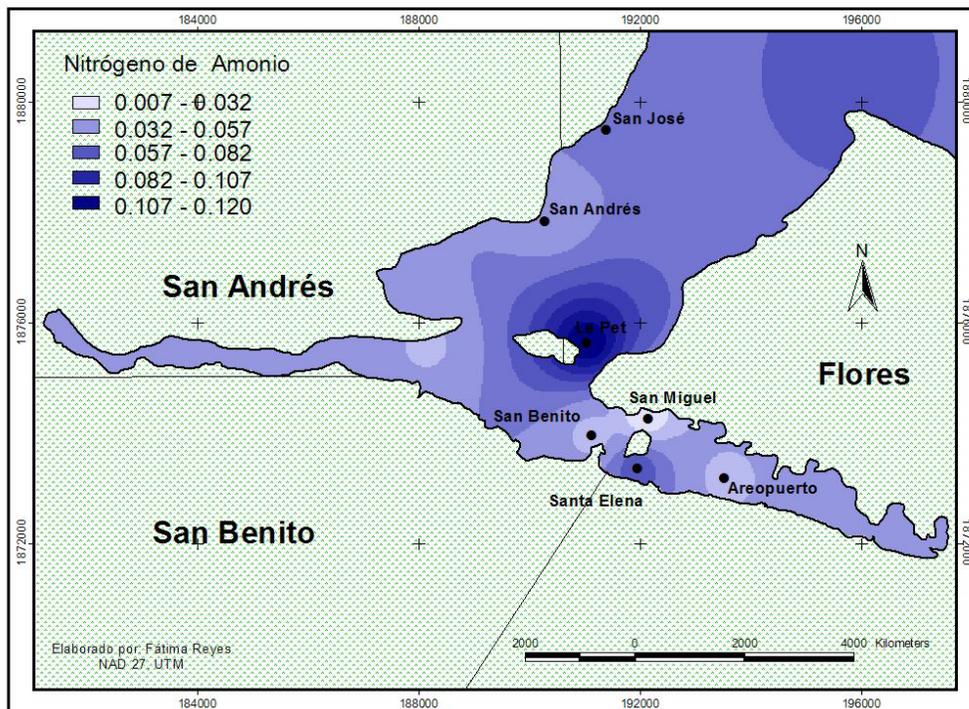
h. Sólidos Disueltos



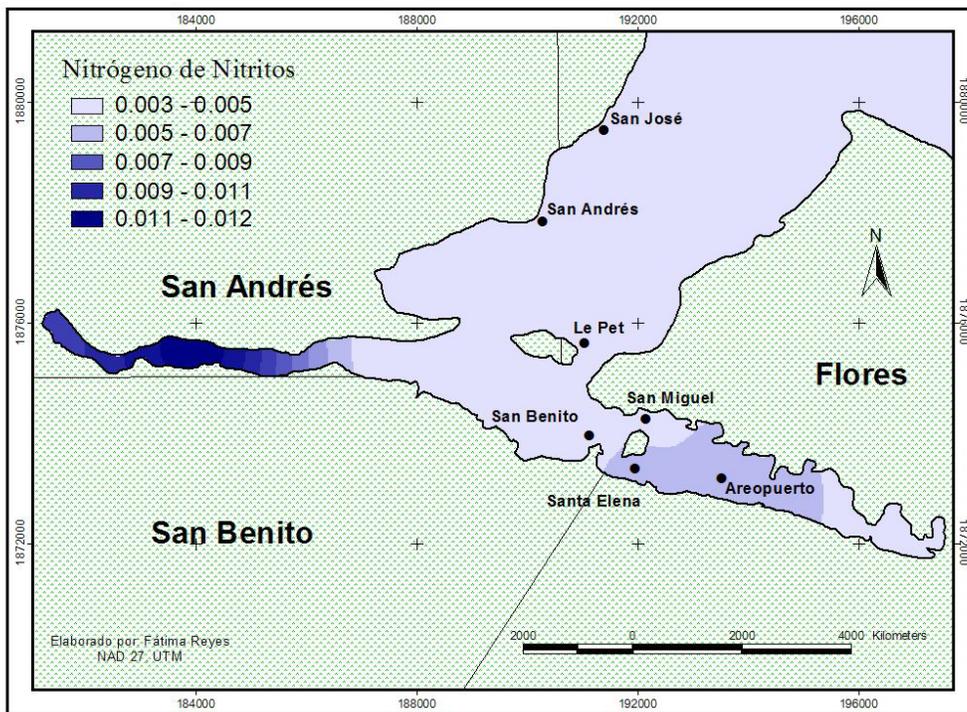
i. Sólidos Totales



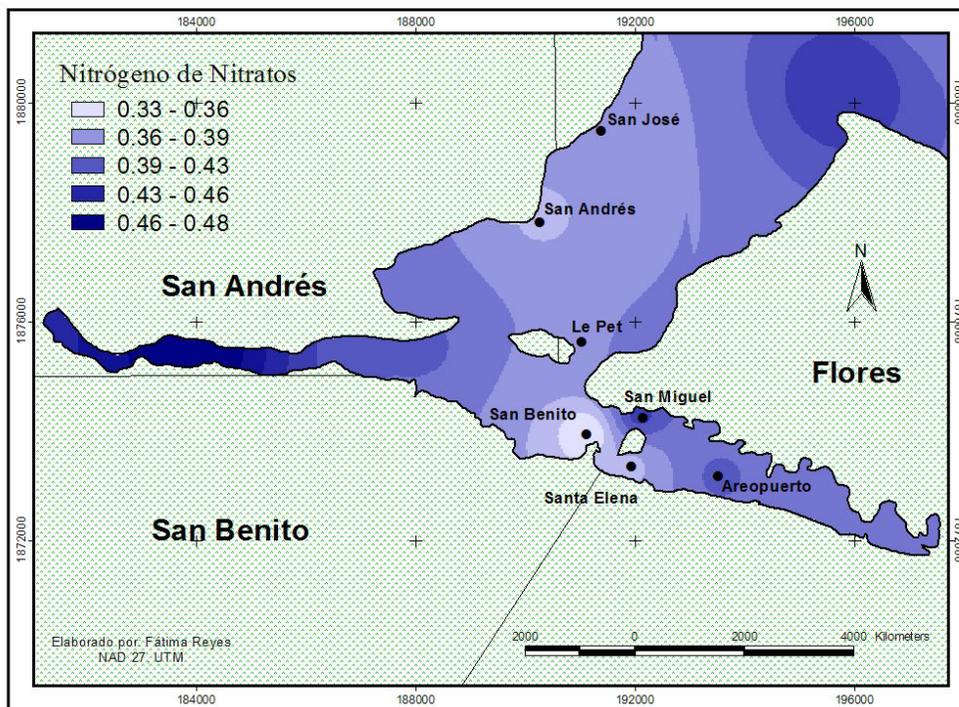
j. Nitrógeno de Amonio



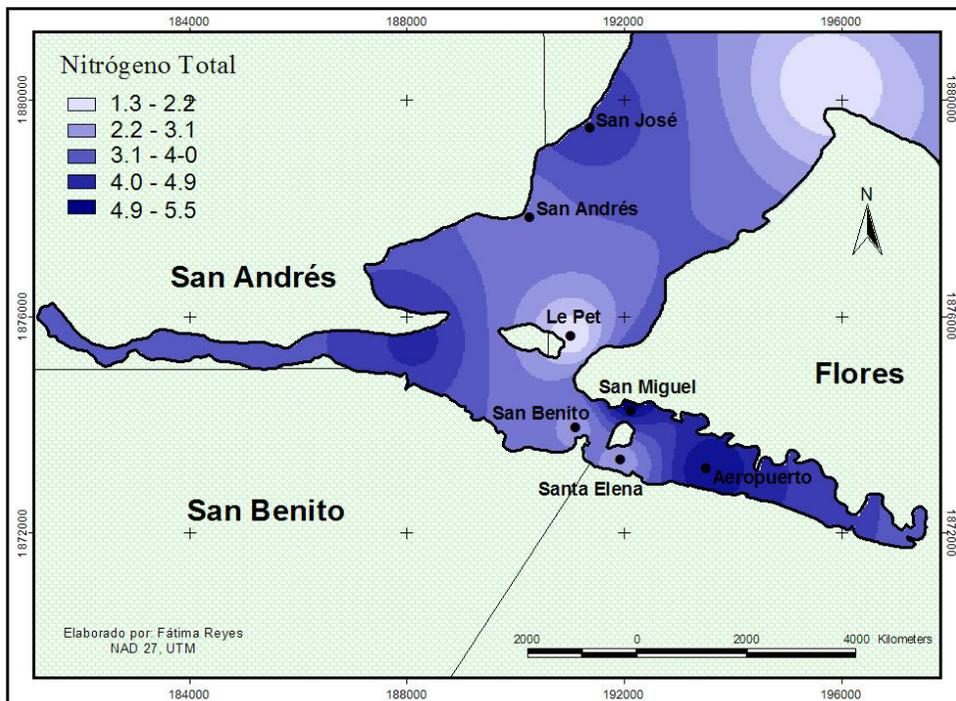
k. Nitrógeno de Nitritos



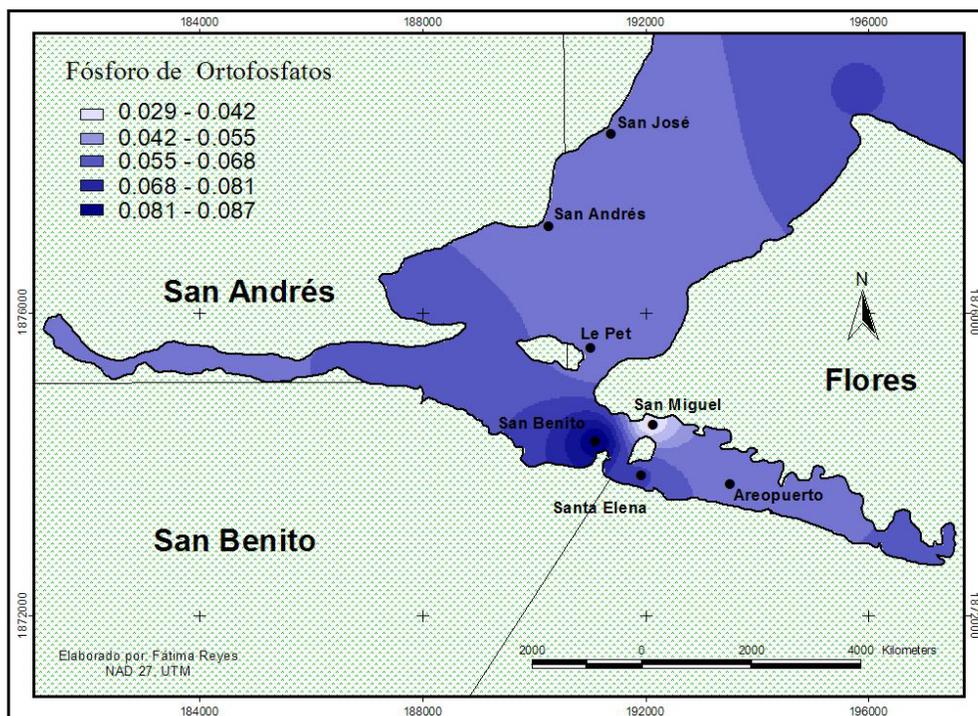
l. Nitrógeno de Nitratos



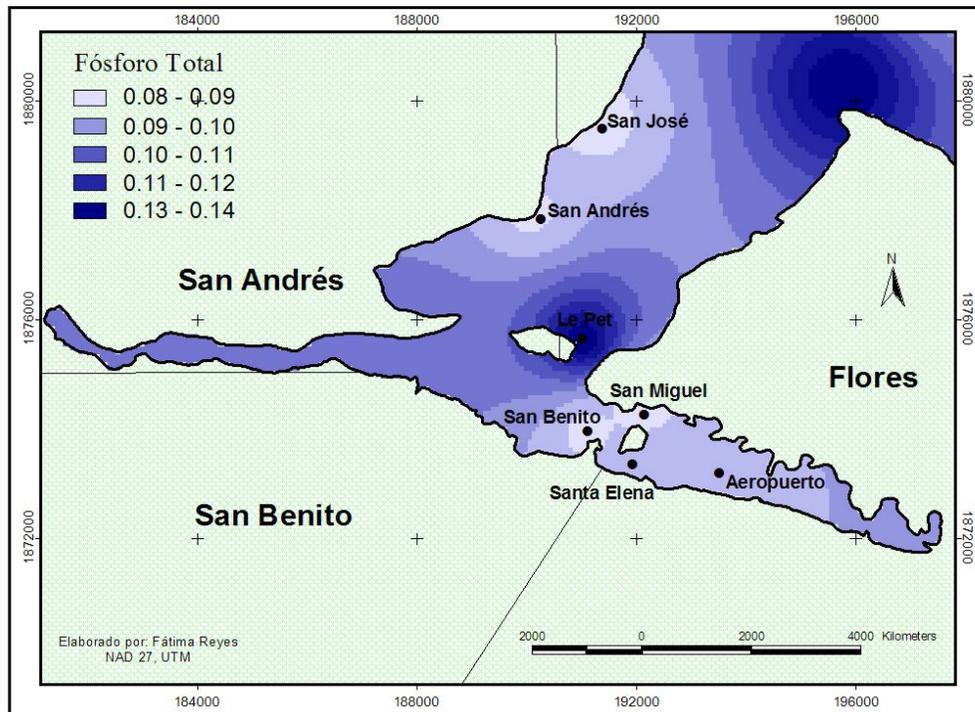
m. Nitrógeno Total



n. Fósforo de Orto – Fosfatos



o. Fósforo Total



13.3 Fotografías de los Sitios de Muestreo, realizados en el Sur Occidente del Lago Petén Itzá.

Aeropuerto



Oliva, 2006.

Le Pet



Oliva, 2006.

San Andrés



Oliva, 2006.

San Benito



Oliva, 2006.

San José



Oliva, 2006.

San Miguel



Oliva, 2006.

Santa Elena



Oliva, 2006.

13.4 Fotografías de Vegetación Acuática del Lago Petén Itzá.

Tzil (*Valisneria americana*)



Reyes, 2007.

Ninfa (*Eichornia crassipes*)



Oliva, 2006.

Tul (*Typha dominguensis*)



Reyes, 2006.

Elsa María de Fátima Reyes Morales
Estudiante de Biología

M.Sc. Bessie Oliva Hernández
Asesor de Tesis

Licda. Raquel Sigüenza de Micheo
Revisora de Tesis

Lic. Rosalito Barrios de Rodas.
Directora de Escuela de Biología.

Ph. D. Oscar Cobar Pinto
Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia