

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Biología

**El impacto causado por actividades humanas sobre la
composición y distribución de las poblaciones de peces a
orillas del Lago Petén Itzá.**

José Francisco Baldizón Reyes

Guatemala

2004

**El impacto causado por actividades humanas sobre la
composición y distribución de las poblaciones de peces a
orillas del Lago Petén Itzá.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Biología

**El impacto causado por actividades humanas sobre la
composición y distribución de las poblaciones de peces a
orillas del Lago Petén Itzá.**

José Francisco Baldizón Reyes

Trabajo de graduación presentado para optar el grado académico de
Licenciado en Biología

Guatemala

2004

Vo. Bo. :

(f) _____
Lic. Luis Estuardo Ríos González
Asesor Principal

Tribunal:

(f) _____
Lic. Luis Estuardo Ríos

(f) _____
Dra. Margaret Dix

(f) _____
Licda. Margarita Palmieri

Fecha de aprobación:

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por ser mi guía en todo momento. A mis padres por darme su apoyo incondicional en cualquier situación y por enseñarme cómo afrontar todos los retos que la vida me pusiera por delante. Muy especialmente a mi tía Lupita quien ha sido como una madre para mí. A mi hermano Jairo por estar siempre conmigo cuando más lo necesitaba. A mi tío Salva por inculcarme el amor hacia los peces y hacia mi querido Lago Petén Itzá y finalmente a toda mi familia por siempre brindarme su apoyo incondicional.

A Luis Ríos por estar conmigo a cada momento y porque sin él y sus consejos la realización de esta tesis nunca hubiese sido posible, gracias por todo Luis. A Margaret Dix, por brindarme su experiencia para la realización de la tesis, por ser mi mentora durante toda la carrera, por inculcarme el amor hacia la biología y sobre todo por brindarme esa ayuda especial que siempre me brindó y que nunca tuve oportunidad de agradecerle. A la licenciada Margarita Palmieri por su paciencia para la revisión de este documento.

La realización de esta investigación no hubiese sido posible sin ninguna de las personas que me ayudaron en el trabajo de campo, especialmente, sin Israel Portillo, quién más que un ayudante de campo fue un maestro que me enseñó todos los secretos del Lago. A mi amigo Percy quién además de ayudarme en los muestreos me brindó toda su experiencia tanto en el campo de la biología como en el de la computación ya que parte de este informe fue hecha gracias a él. A Mayra Maldonado por apoyarme no sólo durante la tesis sino durante toda mi carrera. A Fernando Yip por ser la persona que finalmente me enseñó cómo usar el Hach y a Charles Mac Vean por ayudarme con el análisis estadístico de esta investigación.

CONTENIDO

	No. Página
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	12
III. OBJETIVOS	13
IV. HIPÓTESIS	14
V. MÉTODOS	15
A. SITIOS DE MUESTREO	15
B. COLECTA DE PECES	17
C. ANÁLISIS DE AGUA	18
VI. RESULTADOS	20
A. SITIOS DE MUESTREO	20
B. COLECTA DE PECES	28
C. ANÁLISIS DE AGUA	35
VII. DISCUSIÓN	45
A. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD DE PECES	45
B. PERTURBACIÓN Y DIVERSIDAD DE PECES	46
C. NUTRIENTES PRESENTES EN EL LAGO	49
D. FACTORES FÍSICOS	52
VIII. CONCLUSIONES	56
IX. RECOMENDACIONES	58
X. LITERATURA CITADA	60

XI. APÉNDICES.	63
1. Cuadros para toma de datos durante cada muestreo	63
2. Fotografías de las especies registradas durante el estudio	64
3. Análisis de varianza para cada una de las especies durante todo el estudio	70
4. Cuadro estadístico general (ANOVA), por muestreo, del análisis físico – químico del agua durante todo el estudio	71
5. Código y número de norma de COGUANOR para los parámetros físico – químicos analizados	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro.	Página
1. Análisis estadístico del número de especies, número de individuos colectados y diversidad en el lago Petén Itzá.	32
2. Especies encontradas durante el estudio en el lago Petén Itzá	33
3. Valores de similitud, para los puntos muestreados, utilizando el índice de Jaccard	34
4. Valores de similitud, para los puntos muestreados, utilizando el índice de Sorenson	34
5. Concentración de nitritos (mg/l), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	36
6. Concentración de nitratos (mg/l), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	36
7. Concentración de sulfatos (mg/l), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	37
8. Concentración de orto - fosfatos (mg/l), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	37
9. Niveles de turbidez (unidades FTU), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	39
10. Concentración de pH, durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	39
11. Niveles de Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	40

12. Niveles de Temperatura (°C), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	40
13. Porcentaje de saturación de oxígeno, durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	42
14. Concentración de oxígeno disuelto (mg/l), durante todo el estudio, en cada punto de muestreo en el lago Petén Itzá.	42
15. Análisis estadístico de las variables físico – químicas del agua medidas durante el estudio en el lago Petén Itzá.	43
16. Comparación de los parámetros estudiados con datos de otros lagos y de la COGUANOR.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura.	Página
1. Provincias ícticas de Centro América.	2
2. Distrito central de lagos del Petén.	5
3. Puntos de muestreo alrededor del lago Petén Itzá.	16
4. Vista de Flores – San Benito.	21
5. Vista de San Andrés – San José.	22
6. Vista de El Remate.	23
7. Vista de San Pedro.	24
8. Vista de La Arenera.	25
9. Vista de La Playita.	26
10. Vista de La Guaca.	27
11. Vista de Tres Naciones.	28
12. Especies capturadas por familia en el lago Petén Itzá.	29
13. individuos capturados por familia en el lago Petén Itzá.	29
14. Individuos capturados por especie en el lago Petén Itzá.	30
15. Valores medios por muestreo de A) especies colectadas, B) número de individuos colectados y C) índice de Shannon – Wiener.	31
16. Valores medios (mg/l) por muestreo de A) nitritos, B) nitratos C) sulfatos y D) orto – fosfatos.	35

- 17.** Valores medios por muestreo de A) turbidez, B) pH
C) temperatura y D) conductividad. 38
- 18.** Valores medios por muestreo de A) porcentaje de saturación
de oxígeno y B) oxígeno disuelto. 41

RESUMEN

El presente estudio analiza el impacto que tienen las actividades humanas sobre la distribución y composición de las poblaciones de peces a orillas del Lago Petén Itzá. El análisis se hizo de acuerdo a comparaciones de poblaciones de peces y nutrientes presentes en el agua entre lugares con poblaciones humanas establecidas y lugares sin poblaciones humanas establecidas.

Los puntos de muestreo se escogieron tratando de incluir el mayor número de ambientes para abarcar la totalidad del lago. Los peces se colectaron utilizando atarrayas y la red Seine. Las muestras de agua fueron transportadas al laboratorio de la UVG para determinar su contenido de nitritos, nitratos, sulfatos y orto - fosfatos. La temperatura, turbidez, pH, conductividad y oxígeno disuelto en cada punto se determinaron directamente en el campo.

Se registraron 17 especies de peces pertenecientes a 6 familias de las cuales la familia Cichlidae fue la más diversa (8 spp.) y Poeciliidae la más abundante (34% del total de individuos colectados). La especie más abundante tanto en sitios con poblaciones humanas establecidas como en sitios sin poblaciones humanas establecidas fue *Poecilia mexicana*. Los datos obtenidos mostraron una diferencia significativa ($\alpha < 0.05$) en cuanto al número de especies colectadas comparando sitios con poblaciones humanas establecidas y sitios sin poblaciones humanas establecidas.

Las condiciones físico – químicas del agua fueron homogéneas alrededor del lago no existiendo una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre lugares con poblaciones humanas establecidas y lugares sin poblaciones humanas establecidas. Los factores físicos y químicos analizados estuvieron dentro de los rangos permitidos por la COGUANOR; sin embargo, se registró un proceso de eutroficación que se cree es provocado por el exceso de agroquímicos que llegan directamente al lago al no haber un bosque de galería que actúe como barrera para absorberlos y detenerlos.

I. INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

1. Distribución de peces de aguas continentales en Centroamérica. Más de 350 especies de peces dulceacuícolas habitan Mesoamérica, área continental comprendida entre el istmo de Tehuantepec y la frontera de Colombia. La zona es especialmente rica en especies de poecílidos y cíclidos, mientras los carácidos y siluriformes, tan abundantes en Sudamérica, son numerosos solamente en la región panameña a donde llegaron recientemente. Sólo cuatro familias de peces norteamericanos han alcanzado la región y de éstas, solamente el peje lagarto *Atractosteus* sp. (*Lepisosteus*) ha penetrado hasta el sur de Guatemala (Bussing 2002).

Se puede dividir la región centroamericana en cuatro provincias ícticas (ver figura 1), cada una caracterizada por grupos de especies con distribuciones geográficas similares. El endemismo en especies y géneros también es típico en cada provincia. De norte a sur en la vertiente atlántica están las provincias Usumacinta, San Juan e Ístmica y en el Pacífico, la de Chiapas – Nicaragua y parte de la Ístmica (Bussing 2002).

El endemismo y distribución de las especies están ligados a la historia geológica de la región. Centroamérica estuvo cubierta por el mar antes de la era paleolítica, luego surgió y estuvo aislada de Norte y Sur América. Este aislamiento terminó al principio del pleistoceno. Los movimientos tectónicos permanentes y el vulcanismo posteriormente dieron origen a sus lagos (Miller 1966).

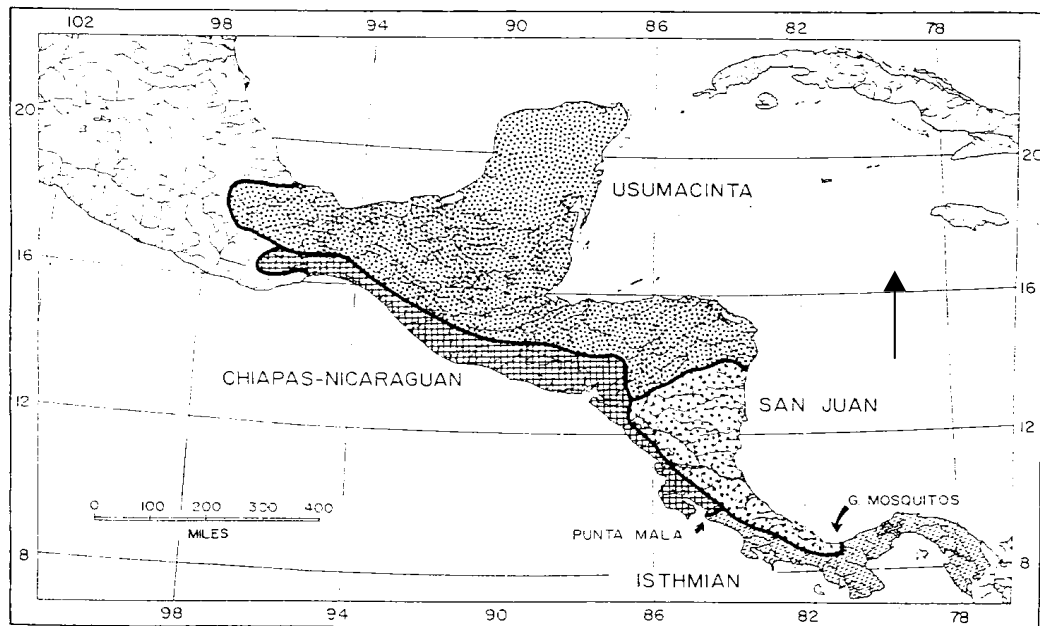


Figura 1. Provincias ícticas de Centro América (Bussing 2002).

La región mesoamericana es todavía muy poco conocida geológicamente. Sin embargo muchos de los estudios biogeográficos coinciden en que existía un puente terrestre intercontinental posiblemente durante el Cretáceo Superior o en el Paleoceno. Esta conexión antigua permitió una dispersión de biota entre Sudamérica, Centro y Norteamérica hace unos 60 millones de años. Luego, durante la mayor parte del Terciario, el puente desapareció, con lo cual Centroamérica quedó aislada de Sudamérica. En este período se desarrollaron muchos linajes endémicos en el sector centroamericano. Una nueva conexión intercontinental en el Plioceno o Pleistoceno permitió una segunda dispersión que todavía sigue a lo largo del nuevo puente terrestre entre las américas (Miller 1966).

El estudio de los patrones de distribución actual de los peces dulceacuícolas de la región centroamericana revela tres conjuntos de peces de distintos orígenes: 1) el Elemento Meridional Antiguo, que se extiende desde Centroamérica hasta el sur de los Estados Unidos; 2) el Elemento Meridional Nuevo, básicamente una extensión de especies suramericanas

en Centro América, cuyo límite norte es la zona sureste de Costa Rica y 3) el Elemento Septentrional, una penetración de pocas especies de peces de zonas templadas del norte en Centroamérica, no más al sur que el norte de Costa Rica. El elemento Meridional Antiguo representa especies descendientes de la primera invasión de peces suramericanos cerca del inicio del Terciario. La segunda invasión representada por el Elemento Meridional Nuevo comenzó después de un largo período de aislamiento durante el terciario y todavía continúa hoy en día. El elemento Septentrional contiene descendientes de linajes norteamericanos que, en parte, tuvieron una historia parecida a los del Meridional Antiguo (Bussing 2002).

El proceso dispersante, principalmente de sur a norte, dio origen a la ictiofauna centroamericana. Aparentemente, la dispersión de la mayoría de estos peces dulceacuícolas ha sido un proceso muy lento debido a su poca habilidad de atravesar la tierra y las aguas saladas. Existe evidencia también de que la tasa de cambio evolutivo en los peces centroamericanos ha sido lenta. Mientras los cíclidos de los lagos africanos tuvieron una radiación adaptativa entre dos y seis millones de años, las mojarra centroamericanas no se diversificaron mucho en 50 millones de años. Otros peces del elemento meridional antiguo como los pimelódidos, rivúlidos y algunos carácidos, también tuvieron una evolución muy conservadora, lo cual mantiene en forma generalizada los morfotipos y sus ecologías (Bussing 2002).

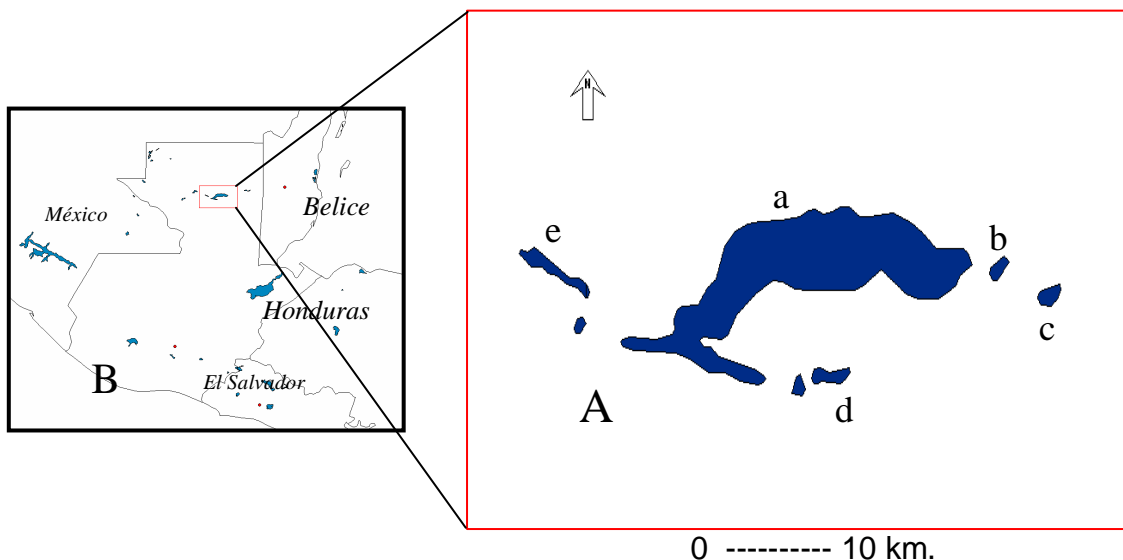
2. Distribución de peces continentales en Guatemala. El territorio de Guatemala cubre aproximadamente 108,900 km², es atravesado por montañas que alcanzan elevaciones sobre los 3,000 m SNM y donde existen alrededor de 300 cuerpos de agua entre lagos y lagunas. Existen en el país tres grandes provincias fisiogeográficas conocidas como la Llanura Costera del Pacífico, Tierras Altas Cristalinas y Sedimentarias y la Planicie

Baja del Petén. Dos de las tres provincias (Tierras Altas Cristalinas y Planicies Bajas del Petén) pertenecen a la provincia íctica centroamericana Usumacinta por lo que poseen mayor similitud entre ellas en comparación con la provincia de la Llanura Costera del Pacífico que pertenece a la provincia de Chiapas – Nicaragua. (Basterrechea 1988).

Las lagunas presentan grandes variaciones: las localizadas en las tierras bajas del Petén se encuentran en zonas kársticas sujetas a altas temperaturas (entre 20.89 y 27.1 °C) y precipitación moderada (1,600 mm/año) y las ubicadas en las tierras altas del altiplano son de origen volcánico, tectónico y kárstico, sujetas a alta precipitación (hasta 4,000 mm/año) y bajas temperaturas (Basterrechea 1988). Aún no se ha generado información sobre clasificación eutrófica – oligotrófica, plancton dominante, productividad primaria y patrón de circulación. Sin embargo Brezonik y Fox (1974) sugieren que las lagunas muestreadas por ellos en Guatemala presentan estratificación estable cuando tienen profundidades promedio mayores a 11 metros (Basterrechea 1988).

3. Información general del distrito central de lagos de Petén.

La región del Petén se caracteriza principalmente por ser de carácter kárstico y de piedra caliza del Cretácico y la era Terciaria. Los principales cuerpos de agua de la región son una cadena de lagos que se extiende aproximadamente 100 km del lago Perdido hasta los lagos gemelos de Yaxhá y Sacnab (Rosenmeier *et al.* 2002).



Fuente:

<http://www.esri.com/data/download/basemap/index.html>

Figura 2. Distrito Central de lagos del Petén. A) Vista específica de cada lago: a) Lago Petén Itzá. b) Laguna Salpetén. c) Laguna Macanché. d) Lagunas Quexil y Petenxil. e) Laguna Sacpuy. B) Ubicación geográfica del distrito en Guatemala.

4. Datos generales del Lago Petén Itzá. El lago Petén Itzá (ver figura 2A). posee una extensión de 990 ha; está localizado en las tierras bajas del Petén (110 m SNM) (ver figura 2B). Es de origen kárstico, presenta alta pluviosidad y debido a la alta temperatura en todo el año, la evaporación alcanza un valor similar a la precipitación. La humedad relativa es del 78%. Al norte del lago existen elevaciones de 180 m SNM y al sur de 114 m SNM. La cuenca, alrededor de 1,200 km², tiene una topografía kárstica y predominan los suelos calizos. La deforestación es alta en áreas cercanas al lago y predomina el cultivo del maíz (Basterrechea 1988). Se reporta una biotemperatura promedio de 25°C con un intervalo de precipitación de 1,400 a 2,050 mm y una evapotranspiración de 0.95 lo que da como resultado que el lago se clasifique, según Holdridge, dentro de un bosque húmedo tropical basal (Escobar 1995).

Desde 1978 el nivel del agua del Lago Petén Itzá ha venido aumentando, lo cual ha provocado inundaciones en los poblados localizados a su alrededor. Desde tiempos de los mayas esto ha sido un problema por lo que éstos no construyeron estructuras debajo de 117.90 m SNM, probablemente basados en inundaciones anteriores. El agua subterránea es el elemento más importante en el balance hídrico, debido a que el lago no tiene entrada o salida superficial de importancia. Por ello, el aumento del nivel está relacionado con el relativamente constante y localizado (noroeste) caudal de salida subterránea, debido a que se ha demostrado que el fondo es poco permeable (Basterrechea 1988).

Flora: En Petén la vegetación tropical se extiende desde el nivel del mar hasta los 1,000 metros y el bosque es más un bosque semi siempre verde que un verdadero bosque lluvioso. El Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz.) es uno de los árboles dominantes de la región (40 al 60% del polen del distrito de lagos) . Las sabanas ocupan un 10% del paisaje del distrito central y existe un remanente de encino (*Quercus oleoides* Oak.) y de nance (*Byrsonima crassifolia* L.). Otros árboles abundantes en la región son: cedro, caoba, chicozapote, santamaría, ceiba y corozo entre otros. La sotobosque es muy rica con abundantes palmas como el xate y otras plantas típicas de dosel en distintas etapas de crecimiento (Dix y Hernández 2001).

Fauna: *Anfibios:* ranitas espumeras (*Leptodactylus* spp.), sapo común (*Bufo marinus*), sapo costero (*Bufo valliceps*), rana de ojos rojos (*Agalychnys callidryas*), ranas arborícolas (*Hyla* spp.), rana leopardo (*Rana berlandieri*), etc. *Reptiles:* cocodrilos (*Cocodrillus moreleti*), tortuga blanca (*Dermatemys mawii*), tortuga jicotea (*Trachemys scripta*), iguanas (*Iguana iguana*), lagartijas de San Juan (*Basiliscus vittatus*), mazacuatas (*Boa constrictor*), barba amarilla (*Bothrops asper*). *Mamíferos:* jaguar (*Panthera onca*), puma (*Puma concolor*), venado cola blanca (*Odocoileus*

virginianus),etc. Aves: garzas, pijijes, pato coche (cormorán), martines pescadores, patos, playeritos, etc (Dix y Hernández 2001).

En el listado de peces reportados para el área se encuentran: *Astyanax fasciatus*, *Hyphessobrycon compressus*, *Gambusia sexradiata*, *Poecilia mexicana*, *Xiphophorus helleri*, *Belonesox belizanus*, *Heterandria bimaculata*, *Dorosoma petenense*, *Petenia splendida* (especie bandera de lago), *Cichlasoma salvini*, *C. robertsoni*, *C. urophthalmus*, *C. synspilum*, *C. affine*, *C. friedrichsthalii*, *C. aureum*, *C. meeki*, *C. spilurum*, *C. octofasciatum*, *Atherinella guatemalensis*, *Rhamdia guatemalensis* y *Symbranchus marmoratus* (Ríos 1996). Este listado se refiere a especies del área de Yaxhá y Nakum, sin embargo, por presentar el Petén Itza las mismas características (fondo kárstico, vegetación similar, alta pluviosidad, temperatura similar) se puede inferir que muchas de las especies habitan en ambos sistemas lacustres (comentario personal Margaret Dix)

5. Principales nutrientes presentes en el Lago.

Nitritos. Son importantes debido a que determinan el estado de autodepuración de un cuerpo de agua ya que son el producto de formación cuando se degrada el amoníaco (NH_3) que es mucho más tóxico y peligroso para la fauna y flora acuática. La degradación de amoníaco se da por medio de una vía oxidativa cuando se consume el oxígeno disuelto en el agua. La proliferación de nitritos generalmente se da por la deposición en el lago de materia orgánica como vertidos cloacales, abonos y basura o desperdicios que van a dar directamente al lago (Dix *et al.* 1999).

Nitratos. Este nutriente es esencial debido a que éste, al igual que los fosfatos, determina el estado de eutroficación que sufre un lago. Son éstos los que propician un aumento en las macroalgas y plantas acuáticas produciendo un aumento en la productividad, lo que no siempre es bueno

para un cuerpo de agua. El aumento de nitratos en un cuerpo de agua se da por el ingreso de desechos animales y humanos en el ecosistema así como de algunos fertilizantes, en general toda la materia orgánica genera nitratos como producto principal de su descomposición (Dix *et al.* 1999).

Sulfatos. Representan la forma predominante de sulfuros disueltos en el agua, son importantes debido a que todos los organismos vivos los utilizan para la síntesis de proteínas y en algunas reacciones metabólicas. El exceso en este nutriente proviene de la descarga de fertilizantes, agroquímicos y pesticidas (Dix *et al.* 1999).

Fosfatos. Es el nutriente más importante debido a que es el principal desencadenante del aumento de la productividad de un ecosistema. Provoca el crecimiento excesivo de algas y plantas causando una disminución significativa en el nivel de oxígeno presente para la respiración de los organismos acuáticos. Se produce principalmente por el uso de fertilizantes agrícolas y detergentes aunque también la roca madre del lago lo puede producir en pequeñas cantidades (Dix *et al.* 1999).

6. Efectos de la contaminación del agua en los peces. Las poblaciones de peces enfrentan una serie de inconvenientes que les confiere la vida acuática y que deben superar permanentemente para poder mantener su homeostasis. Eventos tan importantes en la ontogenia como las migraciones, la reproducción, el desarrollo embrionario, la alimentación o la dispersión están condicionados por una serie de factores físicos, químicos y biológicos del medio. Los peces presentan rangos ideales de tolerancia a estos parámetros del agua y si estos factores se alteran más allá de los niveles aceptables para cada especie, pueden provocar estrés, causar enfermedades y eventualmente serán incapaces de sobrevivir. Si estos

cambios suceden de manera muy lenta pueden ser tolerados y no provocar estrés (Ortubay 2003).

Los parámetros adversos del medio acuático pueden producir efectos directos o indirectos sobre los peces. Los efectos directos son los que se presentan como lesiones, por ejemplo en el caso de una acentuada disminución en el pH lo cual lacera los epitelios branquiales. Los efectos indirectos pueden observarse como un alto nivel de estrés. Esto conduce a una disminución en la resistencia a las enfermedades provocadas por otras fuentes (en particular los bioagresores presentes en el medio y aún en el mismo individuo, como por ejemplo, las bacterias oportunistas). En la época reproductiva el estrés puede reducir el potencial reproductivo. Finalmente puede haber recuperación o producirse la muerte del pez. Los cambios, tanto fisiológicos como bioquímicos, que se producen en el pez como respuesta a este estrés ambiental, son inespecíficos y se desarrollan en tres fases: una reacción de alarma, una fase de resistencia durante la cual la capacidad de adaptación mantiene la homeostasis a pesar de los cambios circunstanciales y una fase de agotamiento, cuando la señal de alarma persiste, la adaptación no es suficiente y la homeostasis o equilibrio, no se puede mantener (Ortubay 2003).

Entre los factores físicos, químicos y biológicos que afectan naturalmente a los peces destacan la temperatura, la intensidad y la periodicidad de la luz, la turbidez, el pH, la conductividad, la alcalinidad y la dureza total, los gases disueltos (oxígeno y dióxido de carbono), los desechos metabólicos (amonio, nitratos y nitritos), los sólidos en suspensión, los bioagresores, la posibilidad de migrar, la disponibilidad de espacio y alimento y la frecuencia de estímulos de temor, tales como el movimiento de sombras. Otro factor importante para los peces en libertad consiste en la productividad del ecosistema que mantiene el suministro de alimento. Los factores ambientales pueden variar sus concentraciones o valores de manera

natural. Por otro lado los organismos patógenos o potencialmente patógenos están siempre presentes en los hospederos (peces, u otros organismos del medio) (Ortubay 2003).

Con respecto a las agresiones no naturales, la actividad humana añade nuevos riesgos introduciendo al medio acuático sustancias peligrosas o desarrollando prácticas que potencian los efectos negativos de los factores ambientales haciéndolos patógenos para los peces. Aún las actividades como la pesca y la acuicultura alteran el medio ambiente. La acción antrópica sobre el medio natural implica una modificación del mismo. El uso intensivo de las tierras de los valles en la agricultura y los incendios forestales favorecen la disminución de la calidad del agua. La erosión de los campos por la eliminación del bosque y del sotobosque multiplica la sedimentación en los cursos de agua, especialmente cuando desaparece la vegetación de las orillas. Esta vegetación es crítica cerca de los sitios de desove, ya que asegura que no se filtren sedimentos al arroyo, garantiza la cubierta protectora de sombra que necesitan los peces para protegerse de los rayos solares en el verano, e impide el calentamiento de las aguas. Las canalizaciones para riego y las extracciones de agua llevan a secar temporalmente los cursos de agua. Se debe tener en cuenta que al reducir el caudal no sólo se está afectando la amplitud hidráulica sino la térmica (Ortubay 2003).

La contaminación inorgánica normalmente es producida por efluentes industriales, lavado de terrenos tratados con agro-químicos, herbicidas, pesticidas y metales pesados que envenenan a los seres vivos acuáticos de inmediato. Cuando las concentraciones de todos estos productos nocivos son bajas, su efecto tarda más en hacerse notar; pero luego de su lenta acumulación en las cadenas alimenticias, terminan teniendo un efecto letal sobre todos los organismos vivientes que ofician como bioacumuladores (Ortubay 2003).

La contaminación orgánica se debe a la alteración de la calidad del agua por el enriquecimiento con materiales orgánicos. Se logra por el aporte de vertidos cloacales urbanos y de plantas de tratamiento, drenajes, fertilizantes y descomposición de materia orgánica, entre otros. Un arroyo enriquecido puede presentar un desarrollo explosivo de algas, siendo algunas cianofíceas responsables de provocar cambios en la concentración de oxígeno disuelto y en la transparencia del agua, olores desagradables, toxicidad, además del conocido "gusto a barro" en los peces. Son numerosos los sabores, olores y colores indeseables encontrados en la carne de pez, ya sea debido a causas naturales como a residuos industriales. También se debe tener presente que altos niveles de materia orgánica conducen a un desarrollo importante de bacterias, muchas de las cuales pueden ser patógenas para los peces. Los desagües reducen la calidad del agua en distinto grado según los niveles de dilución, el grado de tratamiento del material original, de su composición y de la respuesta del ecosistema. La falta de oxígeno es una de las principales consecuencias, así como el aumento de las partículas en suspensión (Ortubay 2003).

II. JUSTIFICACIÓN

El aumento en el número y tamaño de los asentamientos humanos a orillas del lago Petén Itzá se ha incrementado en los últimos años. Con esto ha crecido el uso intensivo del suelo y el ingreso de desechos y aguas negras hacia el lago por lo que se hace necesario determinar el estado de las poblaciones ícticas a orillas de éste.

Así mismo, se ha realizado, tradicionalmente, una explotación pesquera sin control lo que podría estar afectando el tamaño y composición de las poblaciones de peces.

Debido a que la pesca es de importancia en la economía local es necesario determinar el estado actual de las poblaciones por medio de una comparación de sitios con poblaciones humanas establecidas con los sitios sin poblaciones humanas establecidas. Se busca tener un parámetro de comparación que indique si hay una diferencia en abundancia y diversidad de peces entre sitios, y, con él, determinar si hay un impacto real sobre las poblaciones de peces por parte de los pobladores que realizan diversas actividades a orillas del lago.

III. OBJETIVOS

A. General

- Comparar el estado (diversidad y abundancia) de las poblaciones ícticas en lugares con actividad humana constante (sitios con poblaciones humanas establecidas) y lugares poco poblados (sin poblaciones humanas establecidas) a orillas del lago Petén Itzá.

B. Específicos

- Determinar la composición de especies de las poblaciones de peces en el lago Petén Itzá.
- Comparar la abundancia y diversidad de especies entre cada sitio de muestreo.
- Obtener información sobre la calidad físico - química del agua para cada punto de muestreo y determinar si se correlaciona con el estado de las poblaciones de peces.

IV. HIPÓTESIS

Existe diferencia significativa en cuanto al tamaño y número de especies entre las poblaciones de peces en lugares con poblaciones humanas establecidas y lugares sin poblaciones humanas establecidas a orillas del lago Petén Itzá.

Existe diferencia significativa entre las condiciones físico – químicas del agua entre sitios con poblaciones humanas establecidas y sitios sin poblaciones humanas establecidas a orillas del lago Petén Itzá.

V. MÉTODOS

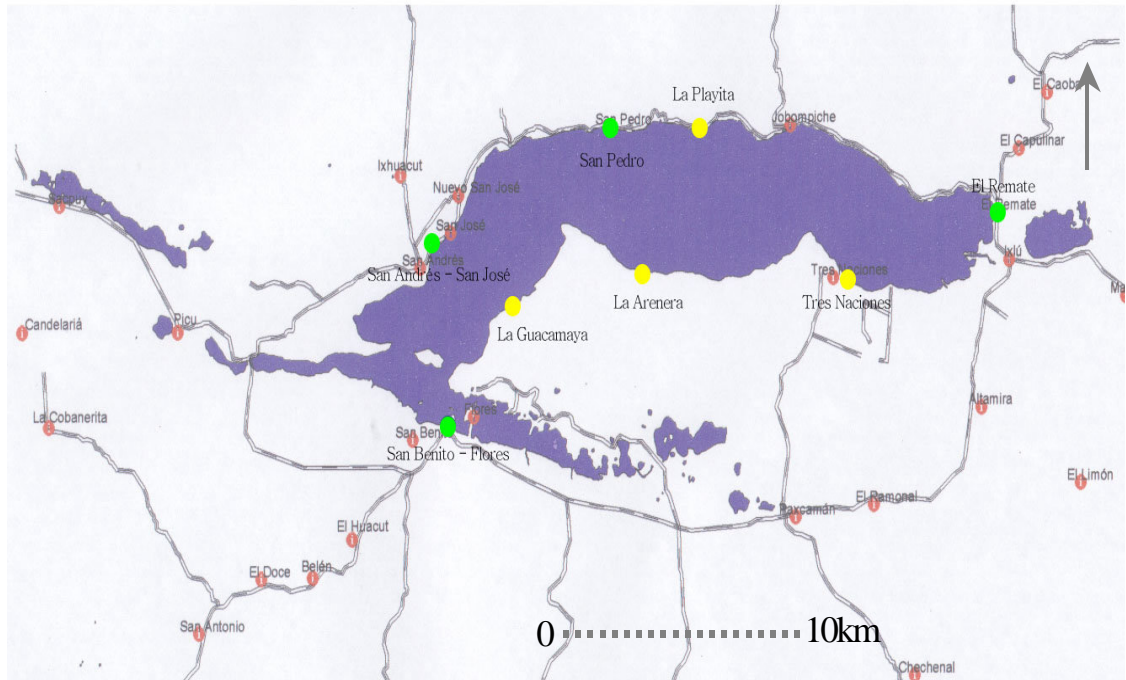
A. Sitios de muestreo

El estudio se realizó en el lago Petén Itzá. para llevarlo a cabo, se escogieron cuatro puntos con poblaciones humanas establecidas (puntos poblados) en la orilla (Flores – San Benito, El Remate, San Andrés – San José y San Pedro) y cuatro puntos donde se diera la menor interferencia humana (puntos sin poblaciones humanas establecidas) en la orilla (La Guacamaya, La Arenera, Tres Naciones y La Playita). Los puntos sin poblaciones humanas establecidas (poco poblados) se escogieron en lugares alejados de los puntos con poblaciones para poder tener una mejor comparación de los datos (ver figura 3). Para cada sitio se hizo una descripción de sus características físicas y tipo de vegetación aledaña.

B. Colecta de peces

Para la captura de peces se utilizaron varios métodos: la red Seine en lugares con playa y sin mucha vegetación subacuática. Con ésta se esperaba coleccionar una mayor cantidad de peces para el análisis de la riqueza de especies. En los sitios en donde la red Seine no pudiera ser utilizada, se utilizaron atarrayas. Otra forma de captura fue por medio anzuelos, para sitios muy profundos y con mucha vegetación subacuática. Se usaron redes mariposeras para atrapar peces en muestreos nocturnos. También se hizo un censo de especies desde fuera del agua, para complementar los datos sobre la riqueza de especies.

Lago Petén Itzá



Fuente:

Departamento de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Defensores de la Naturaleza sede Petén.




-  sin población humana establecida
-  con población humana establecida
-  poblaciones cercanas a lago no incluidas en el estudio

Figura 3. Sitios de muestreo alrededor del lago Petén Itzá.

Para trabajar con la red Seine se utilizaron al menos tres personas para abrir y arrastrar la red hasta la orilla e ir cerrándola para que los peces se introdujeran dentro de la bolsa de la red donde permanecieron atrapados hasta observar la red fuera del agua.

Cuando una especie fue abundante o presentó gran cantidad de alevines, se tomó una muestra representativa al azar (10 individuos) y el resto se contó rápidamente y fue devuelto al agua. De los individuos colectados dos de cada especie se fijaron en etanol al 70% para preservar su contenido de ADN para posteriores estudios. El resto de los individuos capturados fue sacrificado por medio de una inyección en el abdomen con formalina al 10% y luego introducido en frascos con formalina al 10% y piedras de mármol para su preservación. Todos los frascos se identificaron con una etiqueta indicando el sitio y fecha de captura. Al menos un individuo de cada especie fue fotografiado para ser incluido en el listado final publicado en esta tesis.

Los muestreos se hicieron en un horario comprendido entre las seis de la mañana y las cinco de la tarde. Los sitios ubicados en el litoral sur (ver figura 3) se muestrearon primero (de seis de la mañana a doce del medio día) por ser los sitios más lejanos y expuestos al viento. Los sitios ubicados en el litoral norte (ver figura 3) se muestrearon de último (de una a cinco de la tarde). Cada sitio se muestreo por un lapso aproximado de 45 minutos en los cuáles se arrastró tres veces la red Seine. Para cubrir todos los puntos se utilizaron dos días. La mayoría de puntos fueron muestreados en el primer día, a excepción de Flores y El Remate, a los cuáles se llegaba por vía terrestre por lo que se muestrearon en días diferentes a los demás.

El análisis de los peces se realizó en los laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala; se hicieron conteos totales de peces tanto por individuos como por número de especies encontradas en cada punto, esto

para los análisis de diversidad y similitud. Las especies se separaron en diferentes frascos y se marcaron con etiquetas de papel algodón donde se incluía toda la información tanto del pez como del lugar y fecha de colecta. Para el análisis de diversidad se utilizó el índice de Shannon - Wiener y para el de similitud, los índices de Jaccard (cualitativo) y Sorenson (cuantitativo). Para la comprobación estadística de las hipótesis de estudio se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar la relación entre las poblaciones de peces y los sitios a estudiar.

C. Análisis de agua

Para medir el pH del agua se utilizó un pHmetro potenciométrico el cual se calibró previamente con buffer pH 7; para tomar el pH en cada punto se introdujo el pHmetro dentro del agua hasta que la pantalla marcara un pH estable que es al que se encontraba el agua en ese punto. Para la medición de los valores de los iones de nitritos, nitratos, sulfatos y orto - fosfatos se colectó agua utilizando botes de plástico de un litro (previamente lavados con HCl 2% para eliminar impurezas) los cuales se llenaron con agua a una profundidad de 50 cm de la superficie en un área menor a los dos metros de profundidad desde la superficie hasta el fondo. Los botes se colocaron en una hielera donde permanecieron a una temperatura promedio de 4°C para luego ser transportados a un congelador donde fueron almacenados hasta la hora de su análisis en el laboratorio. Para el análisis se utilizó el Hach que es un espectrofotómetro de luz DR 2,000 que mide las concentraciones en el agua de los iones antes mencionados. Los métodos utilizados para medir la cantidad de iones presentes en cada muestra fueron los siguientes: método de diazotización para medir concentración de nitritos; método de reducción de cadmio para concentración de nitratos; método de ácido ascórbico para medir concentración de orto fosfatos y el método de cloruro de bario para la concentración de sulfatos (Dix *et al.* 1999). La turbidez se midió en unidades FTU determinadas directamente por el espectrofotómetro

DR 2,000. Para las mediciones de la temperatura del agua, conductividad y concentración de oxígeno disuelto se utilizó un medidor de oxígeno portátil marca YSI, modelo 85 (ver hojas de apuntes en los apéndice 1A y 1B).

VI. RESULTADOS

A. Sitios de muestreo

Puntos con poblaciones humanas establecidas (poblados). Los puntos con asentamientos humanos fuertes, concentrados en un área restringida y con una población mayor a 700 habitantes, se localizan principalmente en el litoral norte del lago (ver figura 3). La mayoría de estos poblados no presentan un sistema adecuado de drenajes, por lo que pueden estar fuertemente contaminados. El fondo de estos sitios es firme y compuesto, principalmente, por piedra caliza.

1. Flores – San Benito. Punto de muestreo que representa al área central del Departamento de Petén. Se tomaron ambas poblaciones como una sola debido a que se encuentran unidas en lo que se denomina casco urbano. Algunas plantas emergentes como ninfas acuáticas (*Nymphaea ampla* Salisb.), charas (*Chara vulgaris* Vail.), jacintos acuáticos (*Eichornia crassipes* Pers.) y tul (*Typha domingensis* Pers) (Poll 1983) forman parte de su entorno. En sus orillas se encuentran casas, restaurantes, hoteles y balnearios lo que supondría un fuerte foco de contaminación (ver figura 4). Se practica la pesca artesanal y su población en conjunto es de 25,985 habitantes (SIAS 2003). Sus coordenadas UTM son: 16Q 191,771 - 1,873,791.



Figura 4. Vista de Flores San Benito. (Foto: Baldizón 2004).

2. **San Andrés – San José.** Se tomaron estas dos poblaciones como una sola por estar unidas; este sistema es el segundo más poblado luego de Flores – San Benito. En sus orillas se localizan mayormente casas particulares de los pobladores y también algunos comedores y restaurantes. La vegetación que se encuentra en sus orillas es principalmente ornamental y no nativa (ver figura 5). Se practica la pesca artesanal y la población de ambos sitios es 7,458 habitantes (SIAS 2003). de Sus coordenadas UTM son: 16Q 191,205 – 1,879,591.



Figura 5. Vista de San Andrés – San José (Foto: Baldizón 2004).

3. El Remate. A diferencia de los puntos pasados, aquí no hay casas en sus orillas, sin embargo, debido a sus playas, este es un punto con mucho turismo. Es por esto que hay una fuerte presencia de hoteles (alrededor de 3 hoteles por 1 km de playa) y restaurantes así como de balnearios públicos lo que hacen de éste un potencial foco de contaminación (ver figura 6). En su orilla se encuentran plantas emergentes como tul y jacintos de agua además de algunas gramíneas. Se practica la pesca artesanal y su población es de 1,501 habitantes (SIAS 2003). Sus coordenadas UTM son: 16Q 213,150 – 1,880,643.



Figura 6. Vista de El Remate (Foto: Baldizón 2004).

4. **San Pedro.** Es el más pequeño de todos los poblados escogidos dentro de los puntos de muestreo (ver figura 7). No hay un sistema de drenajes adecuado debido a que los drenajes se encuentran a flor de tierra lo que aumenta el ingreso de desechos al lago. La vegetación aledaña esta compuesta principalmente por malezas y porciones de tul en algunas zonas. En esta área, aún se pueden observar lavaderos públicos en sus orillas, se practica la pesca artesanal. Su población es de 710 habitantes (SIAS 2003). Sus coordenadas UTM son: 16Q 0197,590 – 1,882,913.



Figura 7. Vista de San Pedro (Foto: Baldizón 2004).

Puntos sin poblaciones humanas establecidas (poco poblados). La mayoría de éstos se encuentran localizados en el litoral sur del lago y se caracterizan por poseer un fondo lodoso y pantanoso. En la mayoría de éstos se realizan prácticas agrícolas y ganaderas. En ninguna de sus orillas se observan construcciones complejas o asentamientos humanos fuertes.

1. La Arenera. Recibe este nombre porque en este lugar se encuentra una planta rudimentaria de extracción de arena. En sus orillas prolifera el cultivo de maíz. El sitio se caracteriza por tener un fondo lodoso y flojo; la

orilla está cubierta casi totalmente por tul (*Typha domingensis* Pers.) (ver figura 8). Sus coordenadas UTM son: 16Q 195,641 – 1,879,668.



Figura 8. Vista de La Arenera. (Foto: Baldizón 2004).

2. La Playita. Único punto poco perturbado ubicado en el litoral norte del lago. Posee poca vegetación emergente entre la cual se distingue el Tul. En su orilla se localiza un bosque de galería en donde se puede observar árboles de diferentes especies tales como palmeras (*Cocos nucifera* L.; *Bactris balanoides* Oerst.; *Acrocomia mexicana* Karwinsky ex Mart.); guarumo (*Cecropia peltata* Syst.), chico zapote (*Manilkara achras* Syst.), palo de jiote (*Bursera simaruba* Gard. & Ford.), chechén (*Sebastiania longicuspis* Standl.), madrecaao (*Gliricidia sepium* Jacq.) y San Juan (*Vochysia hondurensis* Standl.) (ver figura 9). Aunque en este terreno no se

realiza ninguna actividad por ser una propiedad privada; en sus alrededores se encuentran algunas parcelas donde se siembra maíz y frijol. Sus coordenadas UTM son: 16Q 201,162 – 1,882,746.



Figura 9. Vista de La Playita. (Foto: Baldizón 2004).

3. **La Guaca.** Es de fondo arenoso y lodoso, la orilla de la playa está cubierta en un 85% por sibal y la vegetación ribereña es escasa, conformada solamente por algunas palmeras localizadas a unos 200 metros de la orilla (ver figura 10). En sus orillas se realizan prácticas agrícolas como cultivos de maíz y frijol. Sus coordenadas UTM son 16Q 193,565 – 1,877,518.



Figura 10. Vista de La Guaca. (Foto: Baldizón 2004).

4. Tres Naciones. Sitio más alejado de todos los puntos muestreados al cual solamente se puede acceder por vía acuática. No presenta un bosque de galería, pero en la orilla hay gran cantidad de tul. El fondo es lodoso y arenoso. Se encontraron algunos troncos hundidos que entorpecieron los muestreos, pero que son de gran importancia debido a que sirven de hábitat para los peces (ver figura 11). En este punto se encuentra una finca ganadera de gran extensión. Sus coordenadas UTM son: 16Q 206,212 – 1,879,506.



Figura 11. Vista de Tres Naciones. (Foto: Baldizón 2004).

B. Colecta de peces

Se colectaron 17 especies y 2,481 individuos pertenecientes a 6 diferentes familias. La familia con mayor número de especies fue Cichlidae seguida por Poeciliidae. De las familias Atherinidae, Clupeidae y Pimelodidae sólo se capturó una especie durante el estudio por lo que presentan porcentajes bajos (ver figura 12).

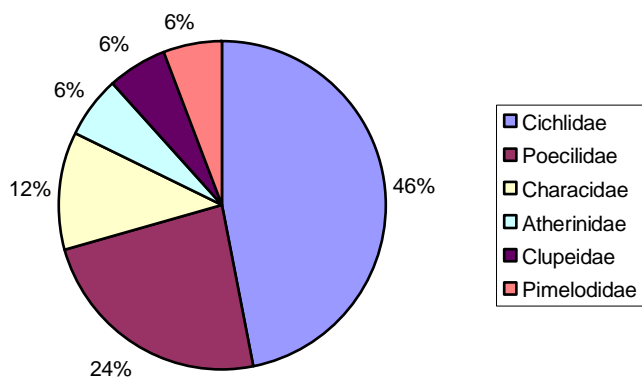


Figura 12. Especies de peces capturadas por familia expresado como porcentaje tanto en sitios perturbados como poco perturbados en el lago Petén Itzá.

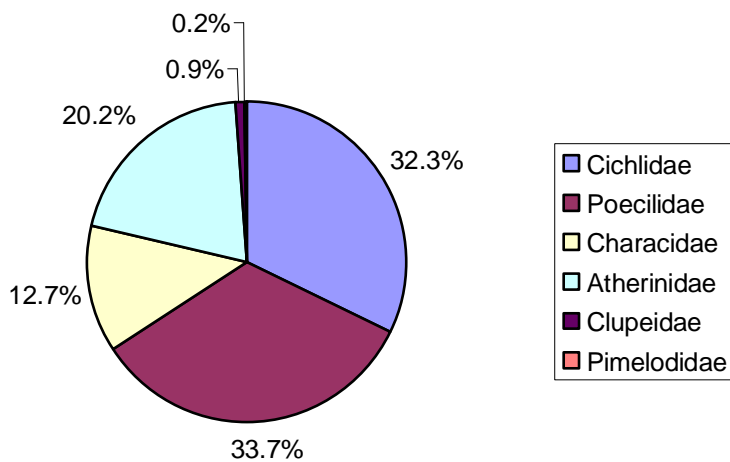


Figura 13. Individuos capturados por familia, expresado en porcentaje tanto en sitios perturbados como poco perturbados lago Petén Itzá.

Poeciliidae y Cichlidae fueron las familias con mayor número de individuos capturados. El número de individuos colectados de las familias Clupeidae y Pimelodidae es muy bajo por lo que su porcentaje de captura en relación al total de individuos capturados también lo es (ver figura 13).

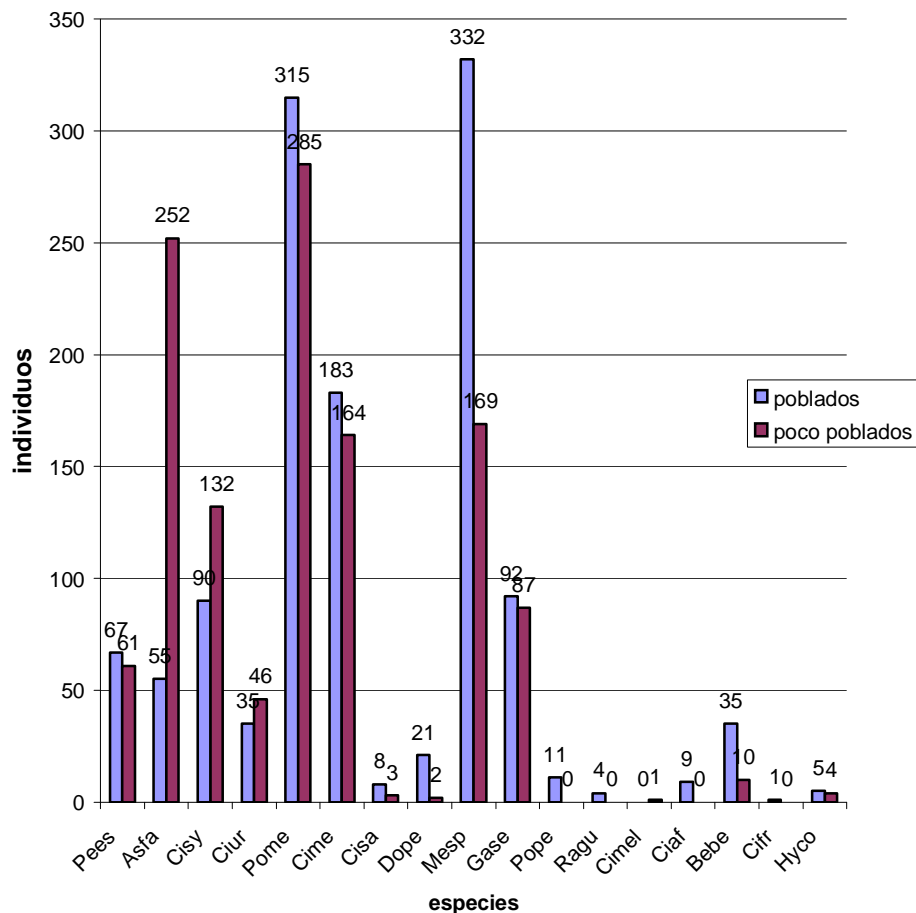
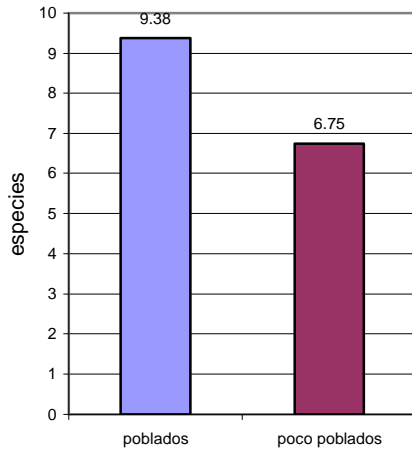


Figura 14. Número total de individuos¹ colectados por cada especie comparando sitios poblados y poco poblados.

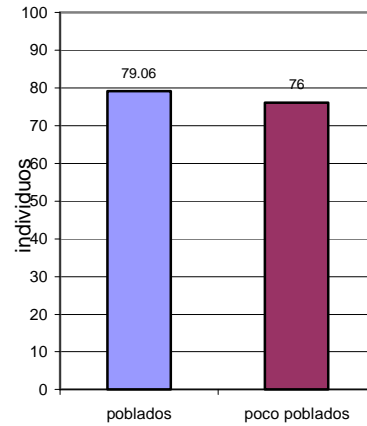
¹ *Petenia splendida* (Pees), *Astyanax fasciatus* (Asfa), *Vieja synspila* (Cisy), *Heros urophthalmus* (Ciur), *Poecilia mexicana* (Pome), *Thorichthys meeki* (Cime), *Heros salvini* (Cisa), *Dorosoma petenense* (Dope), *Atherinella guatemalensis* (Mesp), *Gambusia sexradiata* (Gase), *Poecilia petenensis* (Pope), *Rhamdia guatemalensis* (Ragu), *Vieja melanurus* (Cimel), *Thorichthys affinnis* (Ciaf), *Belonesox belizanus* (Bebe), *Parachromis friedrichsthalii* (Cifr), *Hyphessobrycon compressus* (Hyco).

La especie que mayor número de individuos presentó en ambas zonas (pobladas y poco pobladas) fue *Poecilia mexicana* seguida por *Atherinella guatemalensis*. *Petenia splendida* (Blanco) posee un número similar de individuos colectados en ambas zonas (ver figura 14).

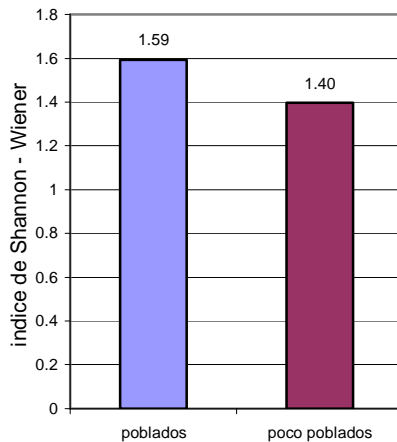


A) Número de especies

($\alpha = 0.0012$)



B) Número de individuos



C) Índice directo de diversidad de Shannon - Wiener

Figura 15. Valor medio por muestreo, durante todo el estudio de A) número de especies colectadas, B) número de individuos colectados y C) Índice de Shannon – Wiener comparando entre sitios poblados y poco poblados.

El análisis de varianza (ANOVA) practicado muestra que la única especie que presenta una diferencia significativa entre áreas pobladas y poco pobladas es *Astyanax fasciatus* ($\alpha = 0.05$). *Atherinella guatemalensis* presenta una preferencia notoria, aunque no significativa, por los sitios poblados (ver figura 14 y apéndice 3).

Se agruparon los datos obtenidos durante los cuatro muestreos para obtener un valor medio, para todo el estudio, del número de especies, número de individuos e índice de diversidad de Shannon – Wiener (ver figura 15).

Cuadro 1. Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre sitios perturbados y poco perturbados.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
total de individuos	Between Groups	31.097	1	31.097	.013	.909
	Within Groups	68217.871	29	2352.340		
	Total	68248.968	30			
total de especies	Between Groups	20.130	1	20.130	7.222	.012
	Within Groups	80.838	29	2.788		
	Total	100.968	30			
diversidad Shannon-Wiener	Between Groups	8.227E-02	1	8.227E-02	1.008	.324
	Within Groups	2.368	29	8.164E-02		
	Total	2.450	30			

α para rechazar la hipótesis nula ≤ 0.05

El ANOVA realizado para comprobar estadísticamente si existía diferencia significativa en cuánto al número de especies, número de individuos y diversidad entre zonas pobladas y poco pobladas, durante todo el estudio (ver figura 15 y cuadro 1) muestra una diferencia significativa ($\alpha = 0.012$) en cuánto al número de especies colectadas en sitios poblados y

poco poblados. Los otros parámetros analizados (número de individuos y diversidad) no presentan una diferencia significativa entre zonas.

De las 17 especies colectadas, las más comunes fueron *Poecilia mexicana*, *Atherinella guatemalensis*, *Astyanax fasciatus* y *Thorichthys meeki* (ver figura 14 y cuadro 2).

Cuadro 2. Especies encontradas alrededor del Lago durante todo el estudio.

	Nombre científico	Nombre común	Familia
1.	<i>Astyanax fasciatus</i>	Sardina, pepesca.	Characidae
2.	<i>Atherinella (Melaniris) guatemalensis</i>	Silin, ejote.	Atherinidae
3.	<i>Belonesox belizanus</i>	Zursie, Pija de Padre.	Poeciliidae
4.	<i>Thorichthys (Cichlasoma) affinis</i>	Shishie.	Cichlidae
5.	<i>Parachromis (Cichlasoma) friedrichsthali</i>	Guapote.	Cichlidae
6.	<i>Thorichthys (Cichlasoma) meeki</i>	Shishie.	Cichlidae
7.	<i>Vieja (Cichlasoma) melanurus</i>	Mojarra.	Cichlidae
8.	<i>Heros (Cichlasoma) salvini</i>	Canson, Cansonte.	Cichlidae
9.	<i>Vieja (Cichlasoma) synspila</i>	Mojarra.	Cichlidae
10.	<i>Heros (Cichlasoma) urophthalmus</i>	Bul.	Cichlidae
11.	<i>Dorosoma petenense</i>	Sardina de leche.	Clupeidae
12.	<i>Gambusia sexradiata</i>	Pultada, pupo.	Poeciliidae
13.	<i>Hyphessobrycon compressus</i>	Sardina, pepesca.	Characidae
14.	<i>Petenia splendida</i>	Blanco.	Cichlidae
15.	<i>Poecilia mexicana</i>	Pultada, pupo.	Cichlidae
16.	<i>Poecilia petenensis</i>	Pultada, pupo.	Poeciliidae
17.	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Luo, juilin, bagre.	Pimelodidae

Ver fotografías en APENDICE 2.

Especies como *Rhamdia guatemalensis*, *Thorichthys affinis*, *Parachromis friedrichsthali* e *Hyphessobrycon compressus* fueron poco comunes debido a la dificultad que representa su captura (ver cuadro 2 y figura 14).

Se hicieron comparaciones de similitud entre puntos durante los cuatro muestreos. Los valores obtenidos durante todos los muestreos se promediaron para obtener un valor global que fuera representativo para todo el estudio.

Cuadro 3. Valores de similitud de especies de peces, durante todo el estudio, haciendo una comparación entre todos los puntos utilizando el índice de similitud cualitativo de Jaccard.

	Flores	La Arenera	La Guacamaya	San Andrés	El Remate	La Playita	San Pedro	Tres Naciones
Flores	1							
La Arenera	0.474	1						
La Guacamaya	0.442	0.656	1					
San Andrés	0.472	0.547	0.452	1				
El Remate	0.543	0.724	0.560	0.604	1			
La Playita	0.430	0.559	0.605	0.664	0.572	1		
San Pedro	0.603	0.557	0.520	0.590	0.525	0.644	1	
Tres Naciones	0.590	0.778	0.773	0.674	0.800	0.692	0.679	1

Los sitios escritos con negrillas son los perturbados.

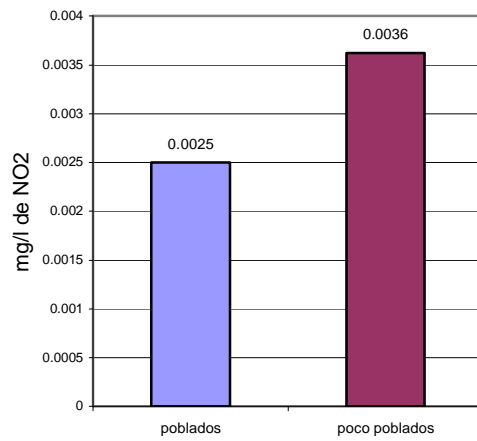
Cuadro 4. Valores de similitud de especies de peces, durante todo el estudio, haciendo una comparación entre todos los puntos utilizando el índice de similitud cuantitativo de Sorenson.

	Flores	La Arenera	La Guacamaya	San Andrés	El Remate	La Playita	San Pedro	Tres Naciones
Flores	1							
La Arenera	0.460	1						
La Guacamaya	0.434	0.492	1					
San Andrés	0.445	0.384	0.273	1				
El Remate	0.465	0.524	0.412	0.415	1			
La Playita	0.339	0.369	0.362	0.536	0.490	1		
San Pedro	0.533	0.497	0.454	0.427	0.552	0.496	1	
Tres Naciones	0.559	0.654	0.619	0.467	0.795	0.409	0.480	1

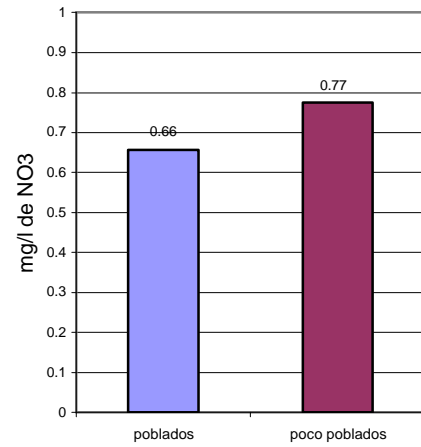
Los sitios escritos con negrillas son los perturbados.

No se presentó una tendencia definida entre puntos en la cual se pudiera establecer una comparación de similitud entre zonas pobladas y poco pobladas (ver cuadros 3 y 4).

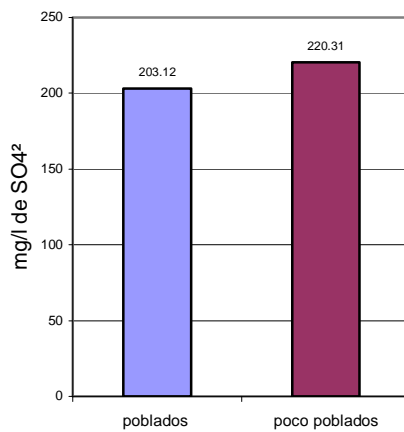
C. Análisis de agua



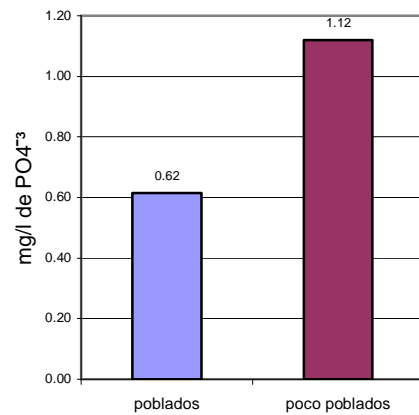
A) Nitritos



B) Nitratos



C) Sulfatos



D) Orto fosfatos

Figura 16. Valor medio de concentración de iones por muestreo, durante todo el estudio de A) nitritos, B) nitratos, C) sulfatos y D) orto - fosfatos, haciendo una comparación entre sitios poblados y poco poblados.

Se agruparon los datos obtenidos durante los cuatro muestreos para obtener un valor medio, para todo el estudio, del contenido de nitritos, nitratos, sulfatos y orto - fosfatos presentes en zonas pobladas y poco pobladas (ver figura 16).

Cuadro 5. Niveles de nitritos (NO₂) en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02 (mg/l)	Muestreo 2 1-5/02/04 (mg/l)	Muestreo 3 23-29/03/04 (mg/l)	Muestreo 4 23-29/05/04 (mg/l)	Significancia (α)
Flores	0.001	0.004	0.001	0.005	0.85
El Remate	0.004	0.004	0.002	0.001	0.89
San Andrés	0.000	0.005	0.001	0.002	0.65
San Pedro	0.000	0.006	0.001	0.004	0.72
La Arenera	0.003	0.004	0.004	0.005	0.93
La Guacamaya	0.002	0.006	0.001	0.002	0.75
Tres Naciones	0.003	0.008	0.001	0.006	0.53
La Playita	0.002	0.005	0.001	0.005	0.62
<i>Significancia (α)</i>	0.30	0.56	0.55	0.78	

Las localidades escritas con **negritas** representan a los puntos perturbados.

Cuadro 6. Niveles de nitratos (NO₃) en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02 (mg/l)	Muestreo 2 1-5/02/04 (mg/l)	Muestreo 3 23-29/03/04 (mg/l)	Muestreo 4 23-29/05/04 (mg/l)	Significancia (α)
Flores	0.8	0.7	0.3	1.0	0.45
El Remate	0.4	0.5	0.9	1.4	0.32
San Andrés	0.7	0.4	1	0.3	0.47
San Pedro	0.4	0.6	0.6	0.5	0.86
La Arenera	1.0	0.5	0.9	1.4	0.54
La Guacamaya	0.6	0.4	1.1	0.3	0.42
Tres Naciones	0.6	0.4	1.1	1.1	0.38
La Playita	0.6	0.4	0.9	1.1	0.33
<i>Significancia (α)</i>	0.33	1.0	1.0	0.22	

Al practicarse un ANOVA ninguno de los nutrientes analizados en la figura 16 mostró una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre zonas pobladas y poco pobladas (ver cuadro 15).

Los cuadros comparativos para el análisis de nitritos, nitratos, sulfatos y orto – fosfatos (cuadros 5 al 8) muestran la significancia de cada sitio durante los cuatro muestreos y la significancia de cada muestreo en los diferentes sitios.

Cuadro 7. Niveles de sulfatos (SO₄) en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

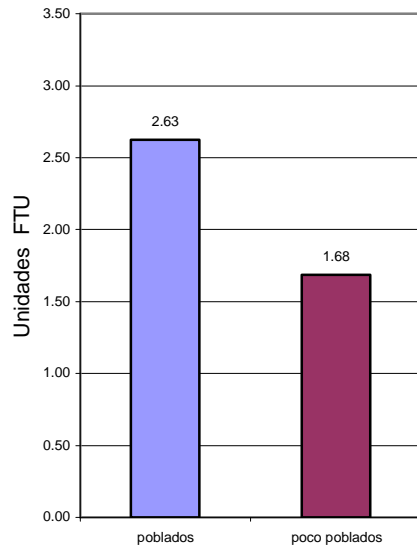
Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02 (mg/l)	Muestreo 2 1-5/02/04 (mg/l)	Muestreo 3 23-29/03/04 (mg/l)	Muestreo 4 23-29/05/04 (mg/l)	Significancia (α)
Flores	210	170	110	150	0.64
El Remate	240	190	250	160	0.72
San Andrés	240	200	420	270	0.55
San Pedro	230	160	90	160	0.52
La Arenera	230	195	300	180	0.44
La Guacamaya	200	170	310	260	0.42
Tres Naciones	220	200	150	370	0.48
La Playita	240	170	120	210	0.62
<i>Significancia (α)</i>	0.09	0.44	0.43	0.54	

Cuadro 8. Niveles de orto – fosfatos (PO₄) en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

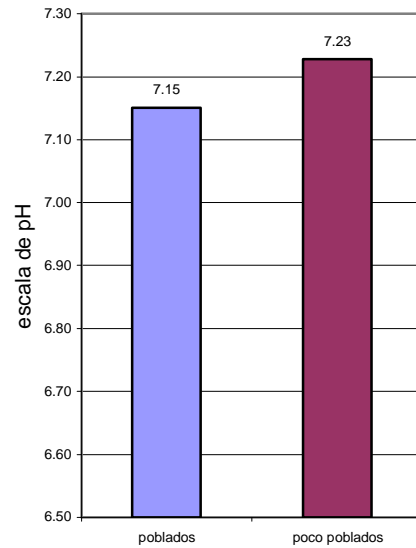
Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02 (mg/l)	Muestreo 2 1-5/02/04 (mg/l)	Muestreo 3 23-29/03/04 (mg/l)	Muestreo 4 23-29/05/04 (mg/l)	Significancia (α)
Flores	0.60	0.61	0.67	0.41	0.92
El Remate	0.60	0.30	1.10	0.90	0.78
San Andrés	0.06	0.04	0.47	0.05	0.82
San Pedro	0.99	0.02	2.60	0.43	0.28
La Arenera	0.80	0.33	0.57	0.05	0.46
La Guacamaya	0.40	1.90	0.50	6.40	0.22
Tres Naciones	2.74	0.88	0.27	2.16	0.33
La Playita	0.32	0.29	0.15	0.17	0.65
<i>Significancia (α)</i>	0.43	0.18	0.14	0.28	

Ninguno de los nutrientes analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre puntos o zonas (pobladas y poco pobladas), o entre muestreos, (ver cuadros 5 - 8 y apéndice 4).

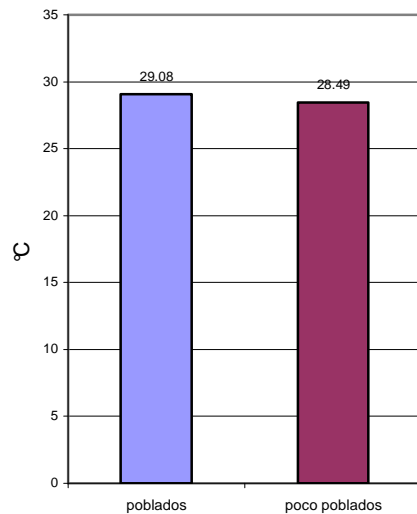
Se agruparon los datos obtenidos durante los cuatro muestreos para obtener un valor medio, para todo el estudio, del nivel turbidez, pH, temperatura y conductividad en zonas pobladas y poco pobladas (ver figura 17).



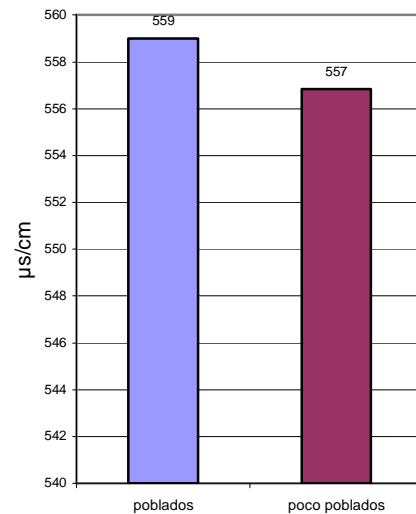
A) Turbidez



B) pH



C) Temperatura



D) Conductividad

Figura 17. Valor medio por muestreo, durante todo el estudio de A) turbidez, B) pH, C) temperatura y D) conductividad comparando sitios poblados y poco poblados.

El ANOVA practicado mostró que ninguno de los parámetros analizados en la figura 17 presentó una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre zonas (ver cuadro 15).

Cuadro 9. Niveles de turbidez, en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02 (FTU)	Muestreo 2 1-5/02/04 (FTU)	Muestreo 3 23-29/03/04 (FTU)	Muestreo 4 23-29/05/04 (FTU)	Significancia (α)
Flores	1	2	2	0	0.57
El Remate	0	2	1	5	0.32
San Andrés	3	1	3	8	0.27
San Pedro	1	1	4	7	0.22
La Arenera	0	1	2	0	0.61
La Guacamaya	0	1	1	6	0.12
Tres Naciones	0	1	3	5	0.35
La Playita	0	3	3	1	0.42
Significancia (α)	0.48	0.42	0.41	0.39	

Cuadro 10. Niveles de potencial de hidrógeno (pH) en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 1 1-5/04/02	Muestreo 2 1-5/02/04	Muestreo 3 23-29/03/04	Muestreo 4 23-29/05/04	Significancia (α)
Flores	6.89	7.3	6.48	7.06	0.86
El Remate	7.96	7.4	7.12	7.05	0.93
San Andrés	7.87	7.2	7.02	6.85	0.82
San Pedro	7.89	7.2	6.87	6.89	0.80
La Arenera	7.60	6.8	7.30	7.04	0.88
La Guacamaya	7.64	7.1	7.40	7.03	0.92
Tres Naciones	7.52	6.7	6.93	6.93	0.81
La Playita	7.75	7.4	6.90	6.63	0.84
Significancia (α)	0.49	0.9	0.94	0.92	

Los cuadros comparativos para el análisis de turbidez, pH, temperatura y conductividad muestran la significancia de cada sitio durante los cuatro muestreos y la significancia de cada muestreo en los diferentes sitios (ver cuadros 9 – 12).

El ANOVA practicado no mostró una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$), para ninguno de los parámetros estudiados, entre zonas pobladas y poco pobladas o entre muestreos (ver cuadros 9 - 12 y apéndice 3).

Cuadro 11. Niveles de conductividad² en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 2 1-5/02/04 ($\mu\text{s/cm}$)	Muestreo 3 23-29/03/04 ($\mu\text{s/cm}$)	Muestreo 4 23-29/05/04 ($\mu\text{s/cm}$)	Significancia (α)
Flores	563	570	585	0.92
El Remate	530	552	570	0.84
San Andrés	544	565	583	0.87
San Pedro	537	522	587	0.85
La Arenera	537	552	578	0.90
La Guacamaya	545	550	602	0.78
Tres Naciones	531	553	569	0.82
La Playita	528	555	582	0.83
Significancia (α)	0.87	0.87	0.31	

Cuadro 12. Niveles de temperatura en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 2 1-5/02/04 °C	Muestreo 3 23-29/03/04 °C	Muestreo 4 23-29/05/04 °C	Significancia (α)
Flores	28.2	30.1	30.7	0.52
El Remate	26.1	28.2	29.4	0.63
San Andrés	27.3	30.0	31.5	0.44
San Pedro	26.5	29.1	31.9	0.41
La Arenera	26.6	27.7	30.4	0.47
La Guacamaya	28.0	27.5	32.3	0.43
Tres Naciones	26.1	27.9	29.7	0.54
La Playita	26.3	28.9	30.5	0.47
Significancia (α)	0.87	0.87	0.54	

Se agruparon los datos obtenidos durante los cuatro muestreos para obtener un valor medio, para todo el estudio, del porcentaje de saturación de oxígeno y el oxígeno disuelto presente en zonas pobladas y poco pobladas (ver figura 18).

² Durante el primer muestreo no se midieron los parámetros de temperatura, conductividad, porcentaje de saturación de oxígeno y oxígeno disuelto.

El ANOVA hecho para el porcentaje de saturación de oxígeno y para el oxígeno disuelto (ver cuadro 15) no mostró diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre zonas pobladas y poco pobladas

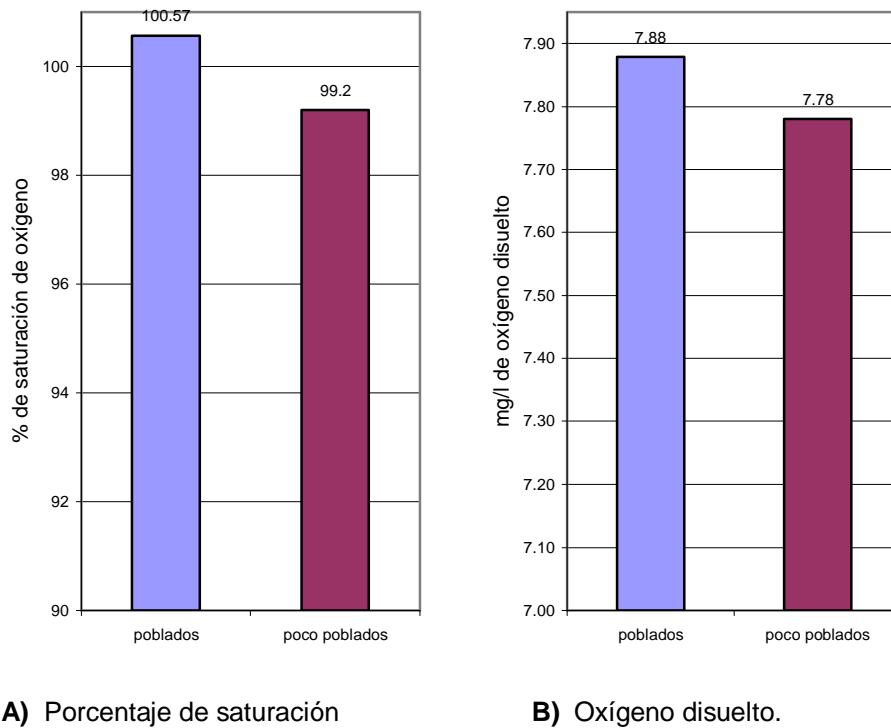


Figura 18. Valor medio por muestreo, durante todo el estudio de A) porcentaje de saturación de oxígeno y B) oxígeno disuelto haciendo una comparación entre sitios poblados y poco poblados.

En los cuadros comparativos para el análisis del porcentaje de saturación de oxígeno y para el oxígeno disuelto se muestra la significancia de cada sitio durante los cuatro muestreos y la significancia de cada muestreo en los diferentes sitios (ver cuadros 13 - 14).

El ANOVA practicado no mostró una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre zonas pobladas y poco pobladas o entre muestreos, para ninguno de los parámetros analizados (ver cuadros 13 y 14 y apéndice 3).

Cuadro 13. Niveles de saturación de oxígeno en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 2 1-5/02/04 % de sat.	Muestreo 3 23-29/03/04 % de sat.	Muestreo 4 23-29/05/04 % de sat.	Significancia (α)
Flores	120.8	104.8	62.8	0.25
El Remate	113.8	123.5	90.0	0.40
San Andrés	118.5	98.8	90.2	0.38
San Pedro	108.8	99.5	75.3	0.32
La Arenera	112.8	103.8	81.7	0.44
La Guacamaya	122.2	104.8	60.5	0.22
Tres Naciones	108.5	99.7	108.4	0.35
La Playita	106.8	104.8	76.4	0.28
Significancia (α)	0.86	0.86	0.85	

Cuadro 14. Niveles de oxígeno disuelto en cada punto de muestreo, durante todo el estudio.

Localidad	Muestreo 2 1-5/02/04 mg/l de O ₂	Muestreo 3 23-29/03/04 mg/l de O ₂	Muestreo 4 23-29/05/04 mg/l de O ₂	Significancia (α)
Flores	9.31	8.17	4.68	0.20
El Remate	8.90	10.13	6.18	0.32
San Andrés	9.50	7.40	6.73	0.59
San Pedro	8.40	7.48	5.63	0.52
La Arenera	9.15	7.98	6.18	0.35
La Guacamaya	9.94	8.02	4.80	0.16
Tres Naciones	8.84	7.75	7.98	0.62
La Playita	8.45	7.77	6.50	0.57
Significancia (α)	0.76	0.76	0.31	

Se realizó un ANOVA para comprobar estadísticamente si existió diferencia significativa durante todo el estudio en los parámetros físico – químicos del agua haciendo una comparación entre zonas pobladas y poco pobladas (ver cuadro 15).

Ninguno de los parámetros analizados en el cuadro 15 presenta una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) al comparar sitios poblados y poco poblados.

Cuadro 15. Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros físico – químicos del agua haciendo una comparación entre zonas pobladas y poco pobladas.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NITRITOS	Between Groups	1.012E-05	1	1.012E-05	2.378	.134
	Within Groups	1.278E-04	30	4.258E-06		
	Total	1.379E-04	31			
NITRATOS	Between Groups	.113	1	.113	1.095	.304
	Within Groups	3.089	30	.103		
	Total	3.202	31			
SULFATOS	Between Groups	2363.281	1	2363.281	.471	.498
	Within Groups	150467.2	30	5015.573		
	Total	152830.5	31			
FOSFATOS	Between Groups	1.940	1	1.940	1.289	.265
	Within Groups	45.162	30	1.505		
	Total	47.103	31			
TURBIDEZ	Between Groups	7.031	1	7.031	1.584	.218
	Within Groups	133.188	30	4.440		
	Total	140.219	31			
PH	Between Groups	1.711E-02	1	1.711E-02	.116	.736
	Within Groups	4.431	30	.148		
	Total	4.448	31			
% de oxígeno saturado	Between Groups	11.207	1	11.207	.034	.854
	Within Groups	7156.627	22	325.301		
	Total	7167.833	23			
oxígeno disuelto	Between Groups	5.042E-04	1	5.042E-04	.000	.988
	Within Groups	50.253	22	2.284		
	Total	50.254	23			
temperatura	Between Groups	2.100	1	2.100	.587	.452
	Within Groups	78.786	22	3.581		
	Total	80.886	23			
conductividad	Between Groups	28.167	1	28.167	.058	.812
	Within Groups	10687.667	22	485.803		
	Total	10715.833	23			

En el cuadro 16 se presenta una comparación de los valores obtenidos para los parámetros físico – químicos durante el estudio. A excepción de los sulfatos y la conductividad, los parámetros son similares a los que presentan los lagos de Izabal (Dix *et al.* 1999) y Yaxhá (Bauer *et al.* 1996).

El Lago de Amatitlán (Basterrechea 1995) presenta valores relativamente diferentes a los analizados para los otros lagos.

Cuadro 16. Valores medios obtenidos de los parámetros físico – químicos comparando sitios poblados y poco poblados con el límite máximo permisible para agua potable establecido por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y con datos obtenidos en otros estudios para el Lago de Izabal, Laguna de Yaxhá y Lago Amatitlán.

	Poblados	Poco Poblados	COGUANOR LMP	Izabal	Yaxha	Amatitlán
<i>Nitritos.</i> mg/l de NO ₂	0.002	0.003	1	0.001	0.005	1.3
<i>Nitratos.</i> mg/l de NO ₃	0.66	0.77	10	0.50	8.2	3.09
<i>Sulfatos.</i> mg/l de SO ₄	203.12	220.31	250	14	1	-
<i>Fosfatos.</i> mg/l de PO ₄	0.62	1.12	1	0.76	1.88	0.41
<i>Turbidez.</i> Unidades FTU	2.63	1.69	15	30	0	-
<i>pH.</i>	7.15	7.23	6.5 – 8.5	7.3	7.14	7.8
<i>Temperatura.</i> °C	29.08	28.50	18 – 34	30.0	25	23
<i>Conductividad.</i> µs/cm	559	557	50 – 1500	249	234	802
<i>Oxígeno disuelto</i> mg/l de O ₂	7.88	7.78	4 – 10	7.60	7.82	4.2

LMP = límite máximo permisible. FUENTE: Evaluación de los niveles de contaminación y asesoría en geología, petróleo y medio ambiente 2003.

El número y código de cada norma de COGUANOR se pueden ver en el apéndice 5.

VII. DISCUSIÓN

A. Análisis de diversidad de peces

Durante los cuatro muestreos se colectaron 17 especies (ver cuadro 2) pertenecientes a 6 diferentes familias. A pesar de no encontrarse ningún listado de peces específico para el Lago Petén Itzá, se tienen los datos de lagos vecinos que se encuentran dentro de la misma zona biogeográfica y que, por ende, poseen características similares. En Yaxhá, se determinó la presencia de 22 especies de las cuales 15 estaban presentes en ambos lagos (Ríos 1996). Se cree que otras especies presentes en Yaxhá, como *Synbranchus marmoratus*, podrían encontrarse también en el Petén Itzá pero debido a la dificultad en su captura, éstas no pudieron ser registradas en el presente estudio. El número de especies colectadas es bueno considerando que el lago es un cuerpo de agua aislado el cual no se conecta con ningún otro cuerpo de agua importante lo que dificulta un posible intercambio de especies como el que se da en otros sitios, como la Laguna de Lachuá, en donde se pueden encontrar hasta 36 especies. La Laguna de Lachuá se conecta con los ríos Usumacinta, San Pedro, La Pasión, Chixoy y Polochic por medio del cual se conecta también con el Lago de Izabal (Granados 2001).

Las familias dominantes en cuanto al número de especies fueron Cichlidae y Poeciliidae (ver figura 12). En general, estas familias son las dominantes en la mayoría de cuerpos de agua dulce centroamericanos debido a que se consideran como uno de los primeros grupos que llegaron provenientes de Sur América (Bussing 2002). Estos grupos han tenido suficiente tiempo para ocupar un mayor número de nichos y tener una radiación adaptativa más rápida comparada con otras familias como Atherinidae y Characidae que llegaron posteriormente. Si analizamos los trabajos hechos en Yaxhá (Ríos 1996), en Izabal (Pérez 2004) y en Lachuá

(Granados 2001), observamos que también en estos lugares estas familias (Cichlidae y Poecilidae) fueron dominantes.

En cuanto al número de individuos por familia (ver figura 13) también Cichlidae y Poecilidae fueron las familias dominantes. Otras familias como Atherinidae y Characidae, a pesar de no poseer muchas especies dentro del lago, son abundantes en número de individuos. Al igual que Poecilidae, estas familias están en la base de la cadena alimenticia constituyéndose como presas de otras especies de mayor tamaño. Lo mencionado anteriormente ejemplifica por qué Cichlidae, en donde la mayoría de especies son depredadoras y poseen un nivel elevado de consumidores, a pesar de ser la familia más abundante en cuanto a número de especies (46%) no lo es en cuanto a número de individuos (32%) (ver figuras 12 y 13).

B. Relación entre perturbación y diversidad de peces

Al comparar tanto sitios con poblaciones humanas establecidas (poblados) como sitios sin poblaciones humanas establecidas (poco poblados) las especies más abundantes fueron *Poecilia mexicana* y *Atherinella guatemalensis* (ver figura 14). Ambas especies son generalmente pequeñas (menores a 10 cm.) y sirven como presa para otras más grandes como *Petenia splendida* y *Rhamdia guatemalensis*, es por esto que, ecológicamente, estas poblaciones tienden a ser más grandes debido a que ocupan un nivel trófico superior en el ecosistema.

Las poblaciones del Blanco (*Petenia splendida*) se consideran como no amenazadas, ya que, como se puede ver en la figura 14, se colectó un número significativo de individuos tanto en sitios poblados como poco poblados indicando esto cierta estabilidad para la especie alrededor del lago. Esta estabilidad es de vital importancia debido a que ésta es la especie bandera del lago y la que más presión por pesca sufre debido a que

se cotiza muy bien en el mercado por la calidad y sabor de su carne. La población de *P. splendida* se considera como estable por ciertos aspectos de la biología de la especie. Uno de esos aspectos es que la mayoría de individuos se encuentran en sitios profundos (los cuales no pueden ser alcanzados por la red Seine) y aún así se colectó un buen número de individuos en relación a otras especies de cíclidos que presentan características similares (ver figura 14). Sin embargo, la mayoría de pescadores que practican la pesca artesanal a orillas del lago pescan principalmente blancos a profundidades mayores a los 10 metros. Esto puede representar un riesgo a corto o mediano plazo. Aunque actualmente las poblaciones del blanco aparentan ser estables, la presión por pesca o la reducción de otras especies de peces que constituyen su alimento pueden causar una reducción repentina de su densidad y poner en riesgo a esta población. Es por esto que se recomienda realizar monitoreos anuales o bianuales para evaluar cambios en su población.

Astyanax fasciatus fue la única especie que presentó una diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) entre sitios poblados y poco poblados. Como se puede ver en la figura 14, *Astyanax fasciatus* muestra preferencia por los sitios poco poblados. Esto concuerda con el hecho de que esta especie es sensible a la contaminación orgánica y fecal producida por los desechos humanos (Comentario personal Michael Dix) y no presenta mayor sensibilidad a contaminación inorgánica. Por otro lado *Atherinella guatemalensis* muestra una preferencia notoria (ver figura 14) hacia los sitios poblados los cuales probablemente estén altamente contaminados con materia fecal debido al mal estado de los drenajes que van a dar directamente al Lago. Esta preferencia, aunque no sea significativa ($\alpha = 0.190$), es importante ya que nos da una idea de la preferencia de esta especie hacia las zonas en donde se concentran poblaciones humanas fuertes. Tanto *Atherinella guatemalensis* como *Astyanax fasciatus* pueden considerarse como especies indicadoras de cierto grado de contaminación

debido a sus preferencias por sitios poblados (*A. guatemalensis*) y poco poblados (*A. fasciatus*).

Existe una diferencia significativa ($\alpha = 0.012$) entre el número de especies colectadas entre sitios poblados comparándolos con los sitios poco poblados (ver cuadro 1). Esto indica cierta tendencia a una mayor colecta de especies en los sitios cercanos a centros poblados. Esta tendencia se debe a que en estos lugares hay una mayor disponibilidad de alimento como consecuencia de los vertidos de aguas negras los cuales dan directo al lago. Esta mayor disponibilidad de alimento, además de atraer a un mayor número de peces (presas y depredadores), provoca un florecimiento de algas y otras plantas acuáticas en donde se pueden establecer colonias, utilizando estas zonas como áreas de anidaje y crianza.

Otro aspecto a tomar en cuenta fue la dificultad de captura en los sitios poco poblados. Estos presentaban un fondo lodoso y fangoso lo que dificultaba el arrastre de la red Seine provocando un menor éxito en las capturas. Además, estos sitios eran poco accesibles (sólo se podía llegar por vía acuática) lo que dificultó los muestreos. El número de individuos colectados (ver figura 15B) no presentó diferencia significativa (ver cuadro 1) al comparar ambas zonas (pobladas y poco pobladas). La medición directa de la diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener presentó valores similares para ambas áreas (1.58 en zonas pobladas vs 1.40 en zonas poco pobladas) sin darse una diferencia significativa entre ambas zonas (ver cuadro 1). Los índices de similitud (ver cuadros 3 y 4) no presentan una tendencia definida en cuanto a similitud entre zonas presentando valores diversos que no dejan lugar para establecer un parámetro continuo de comparación que marque una diferencia entre puntos o entre áreas (pobladas y poco pobladas).

No se encontró ningún estudio anterior al presente que analizara poblaciones de peces en El Petén Itzá y tampoco se tienen datos de captura anuales debido a que la pesca que se realiza en el Lago es totalmente artesanal. Es por esto que no se pueden establecer comparaciones con

datos anteriormente reportados para tener un panorama más amplio de cómo han ido cambiando las poblaciones de peces durante el tiempo.

C. Análisis de los nutrientes presentes en el lago

Se hizo el análisis de nitritos, nitratos, sulfatos y orto – fosfatos que son los nutrientes más importantes en la dinámica de un lago (Dix *et al.* 1999). No se hicieron análisis bacteriológicos ni de coliformes debido a que estos parámetros no inciden directamente en las poblaciones de peces (Comentario personal Margret Dix), las cuales representaban el objeto principal del estudio.

Nitritos. Los niveles observados tanto para sitios poblados como poco poblados son similares (ver figura 16A) con un nivel mayor, no significativo (ver cuadro 15), en los sitios poco poblados. Los valores obtenidos son bajos y concuerdan con los valores reportados para el lago de Izabal (Dix *et al.* 1999) y la laguna de Yaxhá (Bauer *et al.* 1996). Los valores analizados para el lago Amatitlán (Basterrechea 1995) son mayores, lo que concuerda con el grado de contaminación que sufre este lago a causa de la proliferación de agroquímicos y fertilizantes industriales, de los cuales no se tiene ningún control, y van a dar directamente a este cuerpo de agua. El estudio presentó valores sensiblemente más bajos a los parámetros permitidos por la COGUANOR³ (ver cuadro 16 y apéndice 5).

Nitratos. Los resultados obtenidos muestran que tanto los sitios poblados como los poco poblados presentan valores similares (ver figura 16B); sin embargo, se presenta una tendencia no significativa (ver cuadro 15) de

³ Los valores establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) son para aguas potables pero se incluyeron en el presente estudio como un parámetro de comparación.

niveles mayores en los sitios poco poblados. Los valores obtenidos son relativamente bajos y son similares a los reportados para el lago Izabal (Dix *et al.* 1999). Los valores reportados para Yaxhá y para Amatitlán son significativamente más altos (ver cuadro 16). En el primer caso por condiciones naturales del sustrato del suelo y, en el segundo, el nivel elevado se da por las causas anteriormente explicadas para los nitritos debido a que las fuentes primarias de contaminación que los producen son las mismas. Los valores obtenidos están por debajo de los límites establecidos por la COGUANOR (ver cuadro 16 y apéndice 5).

Sulfatos. Los valores obtenidos durante el estudio muestran similitud entre ambas zonas: pobladas y poco pobladas (ver figura 16C) con cierto nivel mayor, no significativo, en zonas poco pobladas (ver cuadro 15). Los valores obtenidos son altos debido a la composición química única del fondo y de los alrededores del lago el cuál contiene dolomita que es un mineral rico en componentes sulfatados. La laguna de Yaxhá y el lago de Izabal reportan niveles mucho más bajos (ver cuadro 16) debido a que estos cuerpos de agua no contiene trazas de dolomita en el fondo. No se tienen datos para hacer comparaciones con el lago de Amatitlán, pero se estima que en éste los niveles son más bajos por la ausencia de dolomita u otros compuestos sulfatados en sus aguas. Los valores obtenidos durante el estudio están por debajo de lo establecido por la COGUANOR (ver cuadro 16 y apéndice 5).

Orto - fosfatos. Los valores obtenidos, al igual que para los otros nutrientes, son similares (ver figura 16D) con una tendencia a ser mayor, sin ser significativa (ver cuadro 15), en los sitios poco poblados. Los valores obtenidos son altos, sugiriendo esto un proceso de eutroficación debido a la descarga descontrolada de agroquímicos y detergentes en estos sitios. Los datos reportados para los lagos de Izabal y Yaxhá (ver cuadro 16) son parecidos a los encontrados en el presente estudio. El lago de Amatitlán

(Basterrechea 1995) reporta niveles más bajos respecto a todos los cuerpos de agua comparados en este trabajo de investigación (ver cuadro 16). Estos niveles bajos no significan que el lago no esté contaminado, sino, al contrario, que todo este nutriente fue aprovechado por las plantas y algas acuáticas (fósforo en bajas concentraciones es limitante del crecimiento en estos organismos (Dix *et al.* 1999)), creando una sobrepoblación de éstas dentro del lago. Los datos obtenidos en el presente estudio están por encima de los límites establecidos por la COGUANOR (ver cuadro 16 y apéndice 5).

Análisis de todos los nutrientes en conjunto. Los nutrientes que provienen de desechos nitrogenados así como de materia orgánica (nitritos y nitratos) están en niveles muy bajos dentro del lago. Esto indica que tanto los desechos fecales y otros desechos orgánicos no están causando un gran impacto en el agua o que el mismo lago los está reciclando y está absorbiendo sus efectos, hasta el momento, de manera satisfactoria.

Dentro de los problemas que actualmente son más críticos están los orto - fosfatos que están acelerando el proceso de eutroficación que sufre el lago. El origen de estos nutrientes es principalmente por fertilizantes, pesticidas de uso agrícola y desechos humanos (Dix *et al.* 1999) y aumenta con el uso excesivo de detergentes, los cuales llegan directamente al lago por deposición de los lavaderos. Para determinar el nivel específico de eutroficación en que se encuentra el lago se necesitaba hacer una serie de mediciones de nitrógeno total (N) y fósforo total (P) lo que no se pudo realizar por no contar, en el campo, con el equipo necesario para llevar a cabo dichas mediciones.

Debido a los patrones de viento homogéneos alrededor del lago los resultados no muestran una diferencia significativa (ver cuadro 15) entre los niveles de nutrientes en sitios poblados y poco poblados. Sin embargo, sí se observa una tendencia en la cual los niveles son más altos en los sitios poco poblados. Esto es contradictorio con lo que se esperaba, ya que si se

toma en cuenta la influencia de los sitios urbanos, los resultados deberían ser opuestos. Sin embargo, los sitios poco poblados presentan mayores niveles de nutrientes debido, posiblemente, a que a orillas de éstos se realizan prácticas agrícolas más intensas. En casi todas las orillas se cultiva maíz y legumbres como cultivo de subsistencia además que la mayoría funcionan como fincas ganaderas. Esto intensifica el uso de fertilizantes y agroquímicos los cuáles dan directamente al lago debido a que no hay un bosque de galería que sirva como buffer o barrera para absorber estos contaminantes.

D. Factores físicos

Turbidez. No se registró una diferencia significativa en cuanto a los valores de turbidez entre sitios poblados y poco poblados (ver cuadro 15). Los niveles obtenidos fueron bajos mostrándose cierta tendencia a ser mayores en los sitios poblados (ver figura 17A). Los valores de turbidez obtenidos son bajos en comparación a los del lago de Izabal (Dix *et al.* 1999) en donde la profundidad es menor y la corriente y los sedimentos que entran de diferentes ríos y del mar hacen que el agua esté más revuelta disminuyendo su transparencia. La turbidez reportada para Yaxhá (ver cuadro 16) es similar a la obtenida en el Petén Itzá y se puede aducir que ésta es debida a la poca productividad de estos lagos lo que mantiene más clara el agua (Rosenmeier *et al.* 2002). El grado de turbidez encontrado en ambas áreas (pobladas y poco pobladas) está significativamente por debajo del rango establecido por la COGUANOR (ver cuadro 16 y apéndice 5).

pH. Los valores de pH son similares entre ambas zonas (ver figura 17B). Estos valores están muy cercanos a un pH neutro (7) que es el ideal para el desarrollo óptimo de la mayoría de especies de flora y fauna tanto acuáticas como terrestres (Ortubay 2003). Los valores obtenidos son similares a los reportados para el lago de Izabal y la laguna de Yaxhá (ver cuadro 16).

Estos valores son ligeramente alcalinos debido a la zona kárstica en la cual se encuentra tanto el Petén Itzá como los otros dos cuerpos de agua mencionados. El lago de Amatitlán reporta valores de pH más alcalinos (Basterrechea 1995) debido al fuerte ingreso de contaminantes industriales en sus orillas.

Temperatura. Los valores obtenidos de temperatura son similares para ambos sitios: poblados y poco poblados (ver figura 17C). Las temperaturas obtenidas son normales de acuerdo al clima cálido que domina en la región central del Petén. Debido a que los muestreos se hicieron durante todo el día se dieron fluctuaciones diarias de temperatura entre los 26.5 ó 27°C por las mañanas hasta los 30 ó 31°C al medio día cuando el sol estaba en su máxima intensidad.

Conductividad. Los valores obtenidos de conductividad son similares tanto para sitios poblados como poco poblados (ver figura 17D) y se encuentran en un nivel medio dentro del rango establecido por la COGUANOR (ver cuadro 16). Las partículas ionizadas presentes en el lago provienen en su mayoría de la topografía dolomítica tanto del lago como de los alrededores de éste. Esto ejemplifica por qué los valores obtenidos son más altos a los reportados para Izabal y Yaxhá (ver cuadro 16). Los valores reportados para el Lago de Amatitlán (Basterrechea 1995) son mayores. Esto debido a que éste cuenta con un mayor número de partículas ionizadas debido al fuerte ingreso de desechos industriales sólidos además de las entradas de aguas térmicas que posee el lago.

Porcentaje de oxígeno y oxígeno disuelto. Ambos parámetros están ligados el uno al otro. El porcentaje de saturación es importante debido a que indica el porcentaje de oxígeno que ha absorbido el lago del ambiente (Dix *et al.* 1999). El oxígeno disuelto es el que permite la supervivencia tanto de peces y plantas así como de otros organismos acuáticos debido a

que es el oxígeno que está disponible para la respiración, en el caso de los peces y para la fotosíntesis en el caso de plantas y algas acuáticas. Los valores de estos parámetros fueron muy similares tanto en áreas pobladas como poco pobladas (ver figuras 18A y 18B) con una diferencia, no significativa (ver cuadro 15) a ser mayor en los sitios poblados. Los valores obtenidos de oxígeno disuelto son relativamente altos, lo que indica que el oxígeno no es un factor limitante en la dinámica del lago. Los valores reportados para el lago de Izabal y para la laguna de Yaxhá (ver cuadro 16) son similares a los obtenidos durante este estudio. Los datos reportados para el lago de Amatitlán (Basterrechea 1995) son significativamente menores a los de los datos obtenidos y a los de los otros cuerpos de agua analizados (ver cuadro 16). Esto debido a que en este lago hay una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO) provocada por el exceso de bacterias y zooplankton que ahí se encuentran (Basterrechea 1995).

Los parámetros físico-químicos analizados muestreo por muestreo (cuadros 5 al 14) no presentan una diferencia significativa entre muestreos ni un parámetro que los diferencie por épocas dando validez a los datos en conjunto estadísticamente analizados en el cuadro 15.

Las condiciones alrededor del lago son homogéneas tanto en diversidad como en abundancia de peces. Las mismas especies de peces se encuentran tanto en los sitios poblados como en los poco poblados y todas (a excepción de *Astyanax fasciatus* y *Atherinella guatemalensis*) en proporciones similares. Las condiciones físico – químicas alrededor del lago también son homogéneas, sin embargo, el aumento en el nivel de ciertos nutrientes, como los orto - fosfatos, en los sitios poco poblados es preocupante aunque todavía no se llega a una situación que se podría considerar alarmante. La diferencia entre ambas zonas (pobladas y poco pobladas) radica principalmente en el tipo de contaminación que llega al Lago. Las áreas poco pobladas producen mayor contaminación inorgánica

proveniente de prácticas agrícolas intensas mientras que las áreas pobladas, se presume, producen mayor contaminación orgánica producto de los desechos fecales que llegan al lago provenientes de un sistema inadecuado de drenajes. Esto explica los valores de oxígeno disuelto y del porcentaje de saturación de oxígeno en las áreas pobladas.

Este estudio sienta un precedente importante debido a que es la publicación más reciente que presenta un listado oficial de especies de peces para el lago Petén Itzá. Además de esto sirve de base para estudios posteriores que se enfoquen en la contaminación del lago y quieran usar peces como indicadores de ciertos patrones de contaminación. Otro aspecto a tomar en cuenta es que el estudio es el primero que documenta el estado de las poblaciones de peces (riqueza y abundancia) en el lago lo que podría ser usado en otros estudios como un parámetro de comparación para determinar como han ido variando en el tiempo las poblaciones dentro del lago.

VIII. CONCLUSIONES

- A.** Durante el estudio se colectaron 17 especies de peces pertenecientes a seis familias diferentes.
- B.** La familia con mayor diversidad de especies fue Cichlidae constituyendo un 46% del total de especies registradas durante el estudio.
- C.** La familia más abundante fue Poeciliidae con un 34% del total de individuos colectados durante los cuatro muestreos, seguida por Cichlidae que tuvo un 32%.
- D.** Existe una diferencia significativa ($\alpha = 0.012$) a favor del número de especies colectadas en los sitios con poblaciones humanas establecidas sobre el número colectado en sitios sin poblaciones humanas establecidas.
- E.** *Astyanax fasciatus* fue la única especie que mostró una diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) entre zonas prefiriendo las áreas sin poblaciones humanas establecidas sobre las áreas con poblaciones humanas establecidas.
- F.** *Atherinella guatemalensis* mostró preferencia, no significativa, por las áreas con poblaciones humanas establecidas sobre las áreas sin poblaciones humanas establecidas.
- G.** La especie más abundante tanto en sitios con poblaciones humanas establecidas como en sitios sin poblaciones humanas establecidas fue *Poecilia mexicana*.

- H.** No existe diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) en cuanto a las condiciones físico – químicas del agua alrededor del Lago Petén Itzá.

- I.** Los niveles de oxígeno disuelto y de saturación de oxígeno no presentan una diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre zonas. Sin embargo, estos parámetros presentan niveles más altos en los sitios con poblaciones humanas establecidas debido a los desechos orgánicos que se vierten directamente al lago.

- J.** Los niveles de orto - fosfatos alrededor del Lago son altos lo que puede predecir un proceso de eutroficación, sobre todo en los sitios sin poblaciones humanas establecidas. Esto es provocado por el exceso de agroquímicos, utilizados para cultivos y prácticas ganaderas, los cuales llegan directamente al Lago debido a la ausencia de un bosque de galería que sirva de barrera o buffer para detenerlos.

- K.** La diferencia poblacional humana entre ambos litorales del Lago (norte y sur) es amplia teniéndose que en el litoral norte es donde se localizan la mayoría de asentamientos humanos, en comparación al litoral sur, el cual está escasamente poblado.

IX. RECOMENDACIONES

- A.** Realizar análisis bacteriológicos y de coliformes que complementen a los análisis físico – químicos para determinar el grado de contaminación, debido a los asentamientos humanos que se encuentran actualmente alrededor del Lago Petén Itzá.

- B.** Realizar un mayor número de muestreos (incluyendo muestreos nocturnos) para complementar el inventario de especies. Esto debido a que hay muchas especies reportadas para otros lagos de la región que no se registraron en este estudio debido a que la captura se tornó complicada por las características físicas y geográficas del Lago.

- C.** Se deben realizar análisis de nitrógeno total (N) y fósforo total (P) para así, por medio de una relación N / P, determinar el estado específico de eutroficación que sufre el Lago.

- D.** Se recomienda a las autoridades y entidades encargadas del manejo del Lago que regulen el uso de agroquímicos tomando medidas preventivas para así revertir el acelerado proceso de eutroficación que ya se ha iniciado.

- E.** Entre las medidas preventivas tomadas en cuenta está la concientización de los agricultores para utilizar adecuadamente los agroquímicos para frenar la eutrofización del lago, reducir los riesgos en la salud de los pobladores y la contaminación del ambiente.

- F.** Sembrar un bosque de galería alrededor del Lago que sirva como buffer minimizando la entrada de contaminantes al agua.

- G.** Implementar un sistema de drenajes adecuado que minimice la entrada de materia fecal y orgánica hacia el Lago.

- H.** Utilizar a las especies *Astyanax fasciatus* y *Atherinella guatemalensis* como indicadores de ciertos patrones contaminación para futuros estudios. Esto tomando en cuenta la preferencia de éstas por sitios con cierto grado de contaminación inorgánica (*A. guatemalensis*) y sitios con cierto grado de contaminación orgánica (*A. fasciatus*).

X. LITERATURA CITADA

- Basterrechea, M. 1988. **Caracterización limnológica preliminar de 32 lagunas de Guatemala.** Proyecto Regional de Manejo de Cuencas Centro Agronómico Trópic de Investigación y enseñanza. *Biología Tropical* 36(1): 115 –122.
- Basterrechea, M. 1988. **Limnología del Lago Petén Itzá, Guatemala.** Proyecto Regional de Manejo de Cuencas Centro Agronómico Trópic de Investigación y enseñanza. *Biología Tropical* 36(1): 123 –127.
- Basterrechea, M. Ed. 1995. **El Lago Amatitlán: Década de estudios limnológicos 1985 – 1995.** Guatemala. 41 pp.
- Bauer, L.; E. Curley y R. Mejía. 1996. **Análisis de los factores físicos y químicos de la Laguna de Yaxhá, Flores, Petén.** Informe Final Curso Ecología Acuática. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 65 pp.
- Brezonik, P y J. Fox. 1974. **The limnology of selected guatemalan lakes.** *Hidrobiología.* 45: 467 – 487.
- Bussing, W. 2002. **Peces de las aguas continentales de Costa Rica.** 2da ed. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 504 pp.
- Campbell, R. 1989. **Statistics for Biologists.** 3a ed. Cambridge University Press. London. 446 pp.
- COGUANOR. 1985. **Valores permisibles de diversos parámetros para agua potable dados por la Comisión Guatemalteca de Normas.** Normas publicadas en el diario oficial el 18 de octubre de 1985.
- Daniel, W. 1999. **Biostatistics: A Foundation for Analisis in the Health Sciences.** 7a ed. John Wiley & Sons. New York. 908 pp.
- Dix, A.; M. Maldonado; M. Dix; O. Bocaletti; R. Girón; I. De la Roca; A. Bailey; K. Herrera; J. Pérez; K. Piérola y G. Rivera. 1999. **El impacto de la cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del Lago de Izabal.** Informe final Proyecto FD 04-97. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT). Guatemala. 148 pp.

- Dix, M y J. Hernández. 2001. **Inventario nacional de los humedales de Guatemala**. Unión Mundial para la Naturaleza, Oficina Regional para Mesoamérica (UICN/HORMA). Costa Rica. 176 pp.
- Escobar, A. 1995. **Diversidad y densidad de plantas con potencial de uso sustentable en el bosque húmedo tropical, Petén, Guatemala**. Tesis de Licenciatura en biología, Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 84 pp.
- Frose, R y D. Pauly. 2004. www.fishbase.com. World Wide Web electronic publication. Última consulta 12 de octubre del 2004.
- Granados, P. 2001. **Ictiofauna de la laguna Lachuá, Parque Nacional Laguna Lachúa, Cobán, Alta Verapaz**. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 73 pp.
- Granados, P y M. Fjeldso. 2002. **Preliminary study of the limnological characteristics of the Lachúa lagoon**. Fundación Solar. Guatemala. 98 pp.
- ESRI World Base Map. 2003. www.esri.com/data/download/basemap. Obtención de mapas actuales del distrito central de lagos del Petén. Estados Unidos de América. Última consulta 8 de junio del 2004.
- Hutchinson, G. 1957. **A Treatise on Limnology**. John Wiley & Sons, New York. 128 pp.
- Leyden, B.; M. Brenner; D. Hodell y J. Curtis. 1994. **Orbital and internal forcing of climate on the Yucatán Peninsula for the past ca. 36 ka**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 109: 193-210.
- Lowe – McConnell, R. 1975. **Fish Communities in Tropical Freshwaters**. Longman Group Limited, Great Britain. 337 pp.
- Miller, R. 1966. **Geographical distribution of Central American freshwater fishes**. *Copeia*. 4: 773-802.
- Ortubay, S. 2003. **Agresiones a los peces**. Artículo consultado en

www.msdb.com.ar/silviao.htm. Departamento de Zoología
Universidad Regional de Bariloche, Argentina. Última consulta 12 de
marzo del 2004.

Pérez, L. 2004. **La ictiofauna del lago de Izabal y sus afluentes: composición, distribución y ecología.** Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala 259 pp.

Poll, E. 1983. **Plantas acuáticas de la región de El Estor, Izabal.** Universidad San Carlos de Guatemala. Depto. de Botánica, Recursos naturales renovables y Conservación. Guatemala 103 pp.

Ríos, L. 1996. **Los peces del área de Yaxhá - Nakum en el Departamento de El Petén, Guatemala.** Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 124 pp.

Rosenmeier, M.; D. Hodell; M. Brenner; J. Curtis, J. Martin; F. Anselmetti; D. Ariztegui y T. Guilderson. 2002. **Limnología y Paleolimnología de Petén, Guatemala.** Journal of Paleolimnology. 27: 117-131.

Sistema Integral de Atención en Salud (SIAS). 2003.

Stehli, F y D. Webb. 1985. **The great American biotic interchange.** Plenum Press, New York. 532 pp.

Wagner, T. 1993. **Contaminación, causas y efectos.** Ediciones Gernika, México. 423 pp.

XI. APÉNDICES

APÉNDICE 1.

A. Hoja de toma de datos para cada punto de muestreo.

Punto	No. de individuos por especie						Fecha:					
	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Spx	% de oxígeno disuelto	mg/l de oxígeno	Conductividad $\mu\text{s/cm}$	T° (°C)	pH	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

Sp = especie.

B. Hoja para anotar datos medidos con el HACH para cada muestreo.

Punto de muestreo	Nitritos (NO ₂) (mg/l)	Nitratos (NO ₃) (mg/l)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	Fosfatos (PO ₄ ⁻³) (mg/l)	Turbidez FTU	*Coordenadas UTM medidas con GPS
FLORES						
LA ARENERA						
LA GUACAMAYA						
3 NACIONES						
SAN ANDRES						
EL REMATE						
LA PLAYITA						
SAN PEDRO						

* las coordenadas se midieron sólo una vez ya que los cuatro muestreos se realizaron en los mismos puntos.

APÉNDICE 2. *Fotografías de las especies registradas durante el estudio.*

1. *Astyanax fasciatus*.



(Frose y Pauly 2004).

2. *Atherinella guatemalensis*.



(Baldizón 2004).

3. *Belonesox belizanus*.



(Frose y Pauly 2004).

4. *Thorichthys affinis*



(Froese y Pauly 2004).

5. *Parachromis friedrichsthalii*.



(Froese y Pauly 2004).

6. *Thorichthys meeki*.



(Baldizón 2004).

7. *Vieja melanurus*.



(Froese y Pauly 2004).

8. *Vieja synspila*



(Froese y Pauly 2004).

9. *Heros salvini*.



(Froese y Pauly 2004).

10. *Heros urophthalmus*.



(Baldizón 2004).

11. *Dorosoma petenense*.



(Froese y Pauly 2004).

12. *Gambusia sexradiata*.



(Froese y Pauly 2004).

13. *Hyphessobrycon compressus*.



(Baldizón 2004).

14. *Petenia splendida*.



(Frose y Pauly 2004).

15. *Poecilia mexicana*.



(Baldizón 2004).

16. *Poecilia petenensis*.



(Baldizón 2004).

17. *Rhamdia guatemalensis*.



(Frose y Pauly 2004).

Si se requiere información sobre alimentación, distribución, hábitat y otros datos de cada especie consultar (Ríos 1996) y (Bussing 2002).

APÉNDICE 3. Análisis de varianza de las principales especies colectadas durante el estudio haciendo una comparación entre áreas pobladas y poco pobladas.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Petenia splendida	Between Groups	1.125	1	1.125	.044	.835
	Within Groups	764.875	30	25.496		
	Total	766.000	31			
Astyanax fasciatus	Between Groups	1212.781	1	1212.781	4.112	.052
	Within Groups	8848.938	30	294.965		
	Total	10061.719	31			
Vieja sysnpila	Between Groups	55.125	1	55.125	.483	.492
	Within Groups	3424.750	30	114.158		
	Total	3479.875	31			
Poecilia mexicana	Between Groups	28.125	1	28.125	.043	.838
	Within Groups	19813.875	30	660.463		
	Total	19842.000	31			
Thorichthys meeki	Between Groups	13.781	1	13.781	.081	.778
	Within Groups	5090.938	30	169.698		
	Total	5104.719	31			
Atherinella guatemalensis	Between Groups	780.125	1	780.125	1.799	.190
	Within Groups	13010.750	30	433.692		
	Total	13790.875	31			

Astyanax fasciatus fue la única especie que mostró diferencia significativa ($\alpha \leq 0.05$) entre zonas pobladas y poco pobladas (ver apéndice 3).

APÉNDICE 4.

A. Cuadro estadístico general de los resultados del análisis fisico-químico del agua durante el primer muestreo.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NITRITOS	Between Groups	3.125E-06	1	3.125E-06	1.271	.303
	Within Groups	1.475E-05	6	2.458E-06		
	Total	1.788E-05	7			
NITRATOS	Between Groups	.125	1	.125	1.119	.331
	Within Groups	.670	6	.112		
	Total	.795	7			
SULFATOS	Between Groups	8778.125	1	8778.125	3.825	.098
	Within Groups	13768.750	6	2294.792		
	Total	22546.875	7			
FOSFATOS	Between Groups	.505	1	.505	.703	.434
	Within Groups	4.311	6	.719		
	Total	4.816	7			
TURBIDEZ	Between Groups	.500	1	.500	.545	.488
	Within Groups	5.500	6	.917		
	Total	6.000	7			
PH	Between Groups	7.411E-02	1	7.411E-02	.539	.491
	Within Groups	.825	6	.138		
	Total	.899	7			
O2SAT	Between Groups	16.335	1	16.335	.028	.875
	Within Groups	2306.873	4	576.718		
	Total	2323.208	5			
O2DIL	Between Groups	.220	1	.220	.055	.827
	Within Groups	16.115	4	4.029		
	Total	16.336	5			
TEMP	Between Groups	3.082	1	3.082	1.115	.351
	Within Groups	11.053	4	2.763		
	Total	14.135	5			
CONDUC	Between Groups	433.500	1	433.500	1.557	.280
	Within Groups	1113.333	4	278.333		
	Total	1546.833	5			

No existe diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) en ninguno de los parámetros analizados al hacer una comparación entre zonas pobladas y poco pobladas (ver apéndice 4A).

B. Cuadro estadístico general de los resultados del análisis físico-químico del agua durante el segundo muestreo.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NITRITOS	Between Groups	2.000E-06	1	2.000E-06	.381	.560
	Within Groups	3.150E-05	6	5.250E-06		
	Total	3.350E-05	7			
NITRATOS	Between Groups	.000	1	.000	.000	1.000
	Within Groups	.680	6	.113		
	Total	.680	7			
SULFATOS	Between Groups	4512.500	1	4512.500	.688	.439
	Within Groups	39375.000	6	6562.500		
	Total	43887.500	7			
FOSFATOS	Between Groups	.738	1	.738	2.311	.179
	Within Groups	1.916	6	.319		
	Total	2.654	7			
TURBIDEZ	Between Groups	6.125	1	6.125	.754	.419
	Within Groups	48.750	6	8.125		
	Total	54.875	7			
PH	Between Groups	3.612E-03	1	3.612E-03	.033	.861
	Within Groups	.653	6	.109		
	Total	.657	7			
O2SAT	Between Groups	66.667	1	66.667	.109	.758
	Within Groups	2445.027	4	611.257		
	Total	2511.693	5			
O2DIL	Between Groups	.126	1	.126	.029	.874
	Within Groups	17.669	4	4.417		
	Total	17.795	5			
TEMP	Between Groups	.167	1	.167	.029	.873
	Within Groups	22.987	4	5.747		
	Total	23.153	5			
CONDUC	Between Groups	4.167	1	4.167	.006	.942
	Within Groups	2754.667	4	688.667		
	Total	2758.833	5			

No existe diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) en ninguno de los parámetros analizados durante el segundo muestreo al hacer una comparación entre zonas pobladas y poco pobladas (ver apéndice 4B).

C. Cuadro estadístico general de los resultados del análisis físico-químico del agua durante el tercer muestreo.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NITRITOS	Between Groups	6.125E-06	1	6.125E-06	1.028	.350
	Within Groups	3.575E-05	6	5.958E-06		
	Total	4.188E-05	7			
NITRATOS	Between Groups	.000	1	.000	.000	1.000
	Within Groups	1.000	6	.167		
	Total	1.000	7			
SULFATOS	Between Groups	1250.000	1	1250.000	.232	.647
	Within Groups	32300.000	6	5383.333		
	Total	33550.000	7			
FOSFATOS	Between Groups	1.403	1	1.403	2.904	.139
	Within Groups	2.899	6	.483		
	Total	4.301	7			
TURBIDEZ	Between Groups	.000	1	.000	.000	1.000
	Within Groups	27.500	6	4.583		
	Total	27.500	7			
PH	Between Groups	1.800E-03	1	1.800E-03	.009	.927
	Within Groups	1.194	6	.199		
	Total	1.196	7			
O2SAT	Between Groups	257.415	1	257.415	.878	.402
	Within Groups	1172.500	4	293.125		
	Total	1429.915	5			
O2DIL	Between Groups	1.739	1	1.739	.965	.381
	Within Groups	7.205	4	1.801		
	Total	8.944	5			
TEMP	Between Groups	.667	1	.667	.183	.691
	Within Groups	14.567	4	3.642		
	Total	15.233	5			
CONDUC	Between Groups	28.167	1	28.167	.050	.834
	Within Groups	2260.667	4	565.167		
	Total	2288.833	5			

No existe diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) en los parámetros analizados durante el tercer muestreo al hacer una comparación entre áreas pobladas y poco pobladas (ver apéndice 4C).

D. Cuadro estadístico general de los resultados del análisis físico-químico del agua durante el cuarto muestreo.

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
NITRITOS	Between Groups	5.000E-07	1	5.000E-07	.085	.781
	Within Groups	3.550E-05	6	5.917E-06		
	Total	3.600E-05	7			
NITRATOS	Between Groups	.101	1	.101	1.913	.216
	Within Groups	.318	6	5.292E-02		
	Total	.419	7			
SULFATOS	Between Groups	1250.000	1	1250.000	.419	.541
	Within Groups	17900.000	6	2983.333		
	Total	19150.000	7			
FOSFATOS	Between Groups	6.108	1	6.108	1.370	.286
	Within Groups	26.749	6	4.458		
	Total	32.857	7			
TURBIDEZ	Between Groups	4.500	1	4.500	.857	.390
	Within Groups	31.500	6	5.250		
	Total	36.000	7			
PH	Between Groups	8.450E-03	1	8.450E-03	.038	.853
	Within Groups	1.347	6	.224		
	Total	1.355	7			
O2SAT	Between Groups	181.500	1	181.500	1.118	.350
	Within Groups	649.173	4	162.293		
	Total	830.673	5			
O2DIL	Between Groups	1.561	1	1.561	1.345	.311
	Within Groups	4.641	4	1.160		
	Total	6.201	5			
TEMP	Between Groups	2.407	1	2.407	.457	.536
	Within Groups	21.067	4	5.267		
	Total	23.473	5			
CONDUC	Between Groups	8.167	1	8.167	.011	.922
	Within Groups	3044.667	4	761.167		
	Total	3052.833	5			

No existe diferencia significativa ($\alpha > 0.05$) entre áreas pobladas y poco pobladas en ninguno de los parámetros analizados durante el cuarto muestreo (ver apéndice 4D).

APÉNDICE 5. Código y número de norma dado por la COGUANOR para los parámetros físico - químicos analizados durante el estudio.

<i>Parámetro</i>	<i>Código</i>	<i>Número</i>
Nitritos (NO ₂)	NGO	29 013 h19
Nitratos (NO ₃)	NGO	29 013 h18
Sulfatos (SO ₄)	NGO	29 013 h26
Fosfatos (PO ₄)	NGO	29 013 h24
potencial de Hidrógeno (pH)	NGO	29 013 h23
Conductividad	NGO	29 011 h3
Temperatura	NGO	29 011 h10
Turbidez	NGO	29 011 h12

* las normas fueron establecidas para agua potable.