

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación**

INFORME FINAL

**Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente
-PUIRNA-**

**“Distribución de los insectos acuáticos en
cuerpos lénticos de la Biosfera Maya:
Indicadores biológicos de la calidad del agua.”**

Integrantes del equipo de investigación:

Lic. Pavel Ernesto García Soto	Coordinador
Licda. Elsa María de Fátima Reyes Morales	Investigadora
Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández	Investigadora asociada
Licda. Ana Gabriela Armas Quiñónez	Investigadora
Br. Balmore Salvador Valladares Jovel	Auxiliar de investigación II

Instituciones participantes y co-financiantes

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas IIQB
Laboratorio de Investigaciones Químicas y Ambientales

Guatemala, Diciembre de 2009.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	5
ANTECEDENTES.....	7
Marco teórico	7
Calidad del agua de los sistemas hídricos:	7
_Uso de los Insectos Acuáticos como indicadores de la calidad del agua	9
_Estudios anteriores.....	13
Marco referencial.....	16
_Características del sitio de Estudio.....	16
_Generalidades del Área de Estudio	16
_Fauna y Flora del Área de Estudio	17
_Poblaciones humanas.....	18
JUSTIFICACIÓN	19
OBJETIVOS.....	20
Objetivos Generales	20
Objetivos Específicos	20
METODOLOGÍA	21
Selección de Sitio y Muestreo.....	21
Muestreo de Insectos acuáticos	22
Parámetros Físicoquímicos	23
Análisis de Datos.....	24
RESULTADOS	25
Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	25
Caracterización de los Insectos Acuáticos en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	29
Riqueza y Abundancia de Insectos Acuáticos en Cuerpos Lénticos.....	33

Curvas de acumulación de especies	39
Análisis Multivariado	40
Análisis de Componentes Principales - PCA -	40
Análisis de Redundancia - RDA -	41
Análisis de Agrupamiento Jerárquico	43
DISCUSIÓN	44
Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	44
Caracterización de los Insectos Acuáticos en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	46
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	58
Anexo 1. Presencia - ausencia de los taxa registrados en los sitios de muestreo y Tratamientos evaluados.	58
Anexo 2. Características Físicoquímicas en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	59
Anexo 3. Registro fotográfico de los Macroinvertebrados Acuáticos colectados en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	61
Anexo 4. Boletas para el levantamiento de datos en el Campo.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización Geográfica de los Sitios de colecta en la Región Maya Tikal – Yaxhá.....	22
Figura 2. Rangos de Oxígeno Disuelto en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomados entre junio y septiembre de 2009.....	25
Figura 3. Rangos de Potencial de Hidrógeno (pH) en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	26
Figura 4. Rangos de Temperatura en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	27
Figura 5. Valores de Nitrógeno Total en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	28
Figura 6. Valores de Fósforo Total en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	28
Figura 7. Riqueza y abundancia relativa de los Órdenes de la Subclase Insecta.....	32
Figura 8. Abundancia relativa de los taxa de la Subclase Insecta.....	33
Figura 9. Riqueza registrada en los tratamientos de Bosque, Poblados y Potrero de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	34
Figura 10. Abundancia relativa registrada en los tratamientos de Bosque, Poblados y Potrero de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	34
Figura 11. Riqueza de cada uno de los sitios de muestreo en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya	36
Figura 12. Abundancia relativa de cada uno de los sitios de muestreo en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.....	37
Figura 13. Curva de acumulación de Insectos Acuáticos en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.	39
Figura 14. Análisis de Componentes Principales - PCA -.....	41
Figura 15. Análisis de Redundancia - RDA -	42
Figura 16. Análisis de Agrupamiento Jerárquico.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Numero de Parcelas, Transectos y Tratamientos por cada sitio de Muestreo.....	21
Tabla 2. Listado taxonómico de especímenes	29
Tabla 3. Riqueza y Abundancia relativa de las clases de Macroinvertebrados Acuáticos colectados	31
Tabla 4. Valores de riqueza, abundancia y diversidad de la primera colecta y segunda colecta	38
Tabla 5. Análisis de Componentes Principales.....	40
Tabla 6. Análisis de Redundancia.....	42

RESUMEN

El presente proyecto tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua, además de conocer la composición y distribución de insectos acuáticos en cuerpos de agua lénticos de la subcuenca del Río San Pedro en la Biosfera Maya. Y así contribuir a la implementación del uso de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala.

Para esto se determinó la variación de los parámetros fisicoquímicos y su relación con los cambios en el uso de la tierra y el estado de conservación en cuerpos de agua lénticos y se correlacionó con los índices bióticos para poder establecer que especies podrían utilizarse como indicadoras.

Para alcanzar los objetivos del proyecto se evaluaron ocho lagunas, el Lago Petén Itzá, Laguna Sacpuy, Petenchel, Quexil, Macanché, Salpetén, Sacnab y Yaxhá entre los meses de junio y septiembre. Los usos de suelo evaluados fueron bosque, potreros y poblados. En cada laguna se registraron 18 parámetros fisicoquímicos y se colectaron muestras de insectos acuáticos, los cuales fueron determinados para obtener la riqueza y abundancia, en cada sitio se realizó una caracterización de hábitat.

Se encontró que los cuerpos de agua lénticos de la Biosfera maya presentan condiciones mesotróficas – oligotróficas, pues los valores que se obtuvieron de los análisis fisicoquímicos se encuentran entre los límites permisibles para aguas naturales.

El estudio de los insectos acuáticos como organismos indicadores de calidad de agua, permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, pero no indica directamente cual es la causa específica que los afecta, lo cual debe ser estimado mediante su asociación con información del hábitat físico y a potenciales fuentes de contaminación

Se registró un total de 38 taxa los cuales en su mayoría correspondieron a estados inmaduros de insectos. De los Insectos acuáticos colectados los grupos con mayor diversidad fueron los odonatos, coleópteros, tricópteros, efemerópteros y finalmente dípteros.

La alta diversidad taxonómica hace de la comunidad de macroinvertebrados una buena indicadora de la calidad ecológica de los cuerpos de agua, ya que ofrecen un amplio espectro de respuestas a las diferentes perturbaciones ambientales, por lo que se podría considerar que en general los taxa encontrados en este estudio son indicadores de aguas de calidad regular y con contaminación moderada.

ANTECEDENTES

Marco teórico

Calidad del agua de los sistemas hídricos:

La calidad del agua ha sido un tema muy tratado durante los últimos 40 años en Europa, iniciando con la Carta Europea del Agua (Estrasburgo, 1968). Ya para ese momento los expertos consideraban que la situación de los recursos hídricos mundiales se estaba volviendo crítica, lo que dio paso al establecimiento de los principios básicos para la conservación y el uso sostenible del agua. En 1998, en el Taller Centroamericano del Agua, se analizaron los factores que afectan la conservación y uso sostenible de los sistemas hídricos, y se identificaron estrategias y mecanismos de gestión ambiental.

Las cuencas y los recursos hídricos sufren grandes presiones producidas por las actividades antrópicas como la agricultura y la ganadería, que son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo, como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos.

Entre los principales contaminantes del agua se pueden nombrar:

- Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).
- Agentes infecciosos.

- Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de ciertas macrófitas acuáticas que interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables y pérdida de la diversidad.
- Productos químicos, incluyendo los pesticidas, las sustancias tenso-activas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- Minerales inorgánicos y compuestos químicos, provenientes de fertilizantes.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las carreteras y los derribos urbanos.

La calidad del agua se ha determinado utilizando principalmente las mediciones de parámetros fisicoquímicos, entre estos parámetros podemos mencionar: aporte de nutrientes (nitrógeno, fósforo), turbidez, temperatura, pH, total de sólidos disueltos (TDS), conductividad, oxígeno disuelto, dureza y alcalinidad. Estos análisis tienen la desventaja de ponderar la calidad del agua de una forma instantánea. Como consecuencia no se registran las perturbaciones y disturbios ocurridos días antes de la toma de datos fisicoquímicos (Margalef, 1983).

Los elementos bióticos de los cuerpos de agua, al contrario de los parámetros fisicoquímicos, no se recuperan de una forma rápida después de un vertido o perturbación de su entorno, aún cuando los valores de los parámetros fisicoquímicos hayan vuelto a la normalidad (Alba-Tercedor, 1996; Alonso y Camargo, 2004).

Uso de los Insectos Acuáticos como indicadores de la calidad del agua

Los métodos biológicos para determinar la calidad de las aguas, han sido usados en Europa desde principios de siglo, sin embargo, sólo en la década de los 50 se tuvo mayor consideración en las respuestas que ofrecían plantas y animales como evidencia directa de la contaminación. Estos métodos básicamente trabajan sobre la premisa que la tolerancia o nivel de respuesta de los organismos que componen el bentos, difiere según el tipo de contaminante a que han sido expuestos.

El uso de organismos en la evaluación de la calidad de agua ha sido ampliamente utilizado; sin embargo, de todos los grupos que han sido considerados en los monitoreos biológicos de las aguas continentales, los macroinvertebrados acuáticos han sido los más recomendados. (Leiva, 2003; Alba-Tercedor, 1996; Figueroa *et al.*, 1996; Rosenberg *et al.*, 1997). Esto se debe a que ofrecen numerosas ventajas como (Carter *et al.*, 2007, Segnini, 2003):

- Tener una amplia distribución, son abundantes y fáciles de coleccionar.
- Ser de naturaleza sedentaria, lo que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones a largo plazo.
- La taxonomía de muchos grupos está bien estudiada.
- Tamaño relativamente grande (visibles a simple vista).
- Presentar ciclos de desarrollo suficientemente largos que les hace permanecer en el curso del agua el tiempo suficiente para detectar cualquier alteración.
- La diversidad que presentan es tal que hay casi una infinita gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación.

- Tras una perturbación necesitan de un tiempo mínimo de recolonización próximo al mes, y a veces más. Por lo que los efectos de una perturbación pueden detectarse varias semanas e incluso meses después de que esta se produzca.
- Presentar ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras, los que pueden ser realizados con equipos simples y relativamente baratos.

El grupo de los macroinvertebrados acuáticos se encuentra integrado de una forma general por aquellos organismos invertebrados mayores a 2 mm, o visibles a simple vista. Los organismos que encaja en esta descripción son en su mayoría del Phyla Arthropoda. De entre los artrópodos se encuentran los cnidarios, moluscos, crustáceos, anélidos, quelicerados y los insectos. De los anteriores la Clase con la mayor representación, tanto de individuos como de especies, es la Clase Insecta.

De la clase Insecta encontramos los Órdenes: (Merritts y Cummins, 1996; Mandaville, 2002; Rosenberg *et al.* 1997)

- | | |
|--------------|-----------------|
| - Tricoptera | - Megaloptera |
| - Plecoptera | - Ephemeroptera |
| - Coleoptera | - Hemiptera |
| - Diptera | - Odonata |

En algunos índices, la tolerancia de los organismos incluye a la comunidad de insectos acuáticos en términos de presencia y ausencia del taxa, el número o proporción del total de cada taxón o alguna otra medida de abundancia que permita asignar un puntaje individual. Estos cambios u otros a nivel morfológico, fisiológico o de desarrollo de estos organismos, pueden indicar que las condiciones físicas y/o químicas, están fuera de sus límites naturales.

Los macroinvertebrados acuáticos han sido utilizados para evaluar los efectos de las actividades humanas a nivel de organización biológica, molecular y a nivel de ecosistema (Carter *et al.*, 2007). A nivel molecular se puede mencionar como ejemplo el efecto de los pesticidas al medir los niveles de acetilcolinesterasa. A nivel de organización, los cambios en el crecimiento y reproducción, así como la tasa de deformidades morfológicas son evaluados como respuestas al incremento en la contaminación. Sin embargo, lo más común es su utilización a nivel de población y comunidades cuando se examina los efectos de la contaminación en el ambiente acuático. Por ejemplo en la mayoría de estudios de rutina de calidad de agua, se toma en cuenta la abundancia de las poblaciones, y la abundancia, riqueza y equidad de los ensambles de macroinvertebrados

Así mismo, se han desarrollado diferentes sistemas de puntaje de los principales grupos taxonómicos presentes para adjudicar una medida de la calidad general de la comunidad e indicar si ha ocurrido alguna degradación, tal es el caso de los índices BMWP, BMWP', EPT y otros (Mandaville, 2002). Pero estos Índices se han desarrollado principalmente en países donde se tiene un extenso conocimiento de la flora y fauna, con lo cual se ha podido asignar valores de bioindicación a algunos organismos.

El cambio en el uso del suelo de bosque a pastizal o a habitacional puede influir en el hábitat acuático y en las comunidades de macroinvertebrados que habitan en el cuerpo de agua de varias formas. La pérdida de vegetación terrestre y el incremento de superficies impermeables puede influenciar la evapotranspiración y la infiltración y alterar los regímenes de flujo natural.

Muchas prácticas de uso de la tierra incrementan la entrada de sedimentos a los cuerpos de agua, alterando las características del sustrato y la morfología del canal de agua, a menudo reduciendo la diversidad de macroinvertebrados (Sponseller *et al.*, 2001).

La remoción de la vegetación ribereña y el subsecuente incremento en la radiación solar que alcanza el agua puede incrementar la temperatura y alterar los parámetros térmicos habituales que son críticos para la ecología de los macroinvertebrados (Hauer & Hill, 2007).

El ingreso de nutrientes inorgánicos de fuentes terrestres, aunado a la captación alterada de agua y el uso de la tierra, puede interactuar con una mayor cantidad de luz disponible y la temperatura del agua para favorecer la producción primaria, resultando en cambios en la estructura trófica de las comunidades bentónicas (Steinman & Mulholland, 2007).

Entre las respuestas típicas de los insectos acuáticos a las perturbaciones se encuentran (Gullan & Cranston 1994):

- Mayor abundancia de (i) Ephemeroptera pertenecientes a las familias con branquias protegidas como los Caenidae, (ii) filtradores como los Trichoptera de la familia Hydropsychidae y (iii) si hay suficiente flujo, las moscas de la familia Simuliidae.
- Si se reduce el oxígeno, aumentan los Chironomidos que poseen hemoglobina. Sin embargo, en los cursos de agua tropicales cálidos, las concentraciones de oxígeno (incluso con saturación total) alcanzan con frecuencia sólo los 8 mg/l, de modo que estos animales pueden ser bastante comunes aunque no haya habido perturbación.
- Pérdida de Plecóptera si aumenta la temperatura.
- Si hay eutrofización (*i.e.* niveles elevados de nutrientes), normalmente hay mayor abundancia de algunas especies resistentes, pero con pérdida general de la diversidad.

- Reducción de la diversidad cuando hay entrada de pesticidas.
- Si hay deforestación, con frecuencia ocurre un cambio de las formas especializadas en el procesamiento de material alóctono hacia formas que consumen macrófitas y algas acuáticas. Es decir, reducción de macroinvertebrados detritívoros e incremento de macroinvertebrados raspadores de algas.

En otros países se ha realizado este tipo de estudios (Riss, *et al.* 2002; Alba-Tercedor, 1996; Edwards *et al.* 1998) que sirven como una línea base para el monitoreo de la calidad del agua de los sistemas hídricos, y el posterior establecimiento de planes de manejo.

Estudios anteriores

Con respecto a estudios realizados en nuestro país utilizando macroinvertebrados acuáticos bentónicos como indicadores de la calidad de los sistemas hídricos, se pueden mencionar los siguientes:

- Benzonik y Fox (1974) realizaron un estudio de limnología en 14 lagos de Guatemala, en el cual se incluyeron 8 lagunas en las tierras bajas de Petén (Eckixil, Juleque, Macanché, Paxcamen, Petén Itzá, Petenxil y Sal Petén) y el resto en el sur. En el estudio se realizó una caracterización fisicoquímica y biológica de los lagos, en el cual se incluyó el estudio de Fitoplancton y poblaciones bentónicas. Dentro de los taxones de insectos acuáticos reportados se encuentran organismos de las Familias Baetidae y Ceratopogonidae, el resto pertenecen a la clase Oligochaeta y Gastropoda.

- Herrera *et al.* (2000) trabajó con insectos acuáticos asociados con *Salvinia auriculata* en el Parque Nacional Laguna del Tigre, en este estudio se reportaron 44 morfoespecies con un total de 26 familias, la familia más representativa fue Coleoptera y Ephemeroptera. Además de esto realizaron estudios de calidad de agua en donde se midieron 8 parámetros fisicoquímicos.
- Solórzano (2001) realizó un estudio en el Parque Nacional Laguna del Tigre –PNLT- en donde relacionó valores de 16 parámetros fisicoquímicos y la estimación poblacional de especies acuáticas de los órdenes Díptera y Hemiptera (Clase Insecta).
- García y Van Tuylen (2006) realizaron estudios de la distribución de macroinvertebrados acuáticos con relación a la contaminación en la Ecoregión Lachuá.
- García (2008) realizó un estudio en el Parque Nacional Laguna Lachuá, en este estudio el objetivo principal fue evaluar que características fisicoquímicas se encuentran correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos y cuales de ellas explican su distribución en los ríos.
- García *et. al.* (2009) realizaron una evaluación de los efectos del cambio del uso de la tierra sobre la calidad del agua y los patrones de diversidad de macroinvertebrados béntonicos en la Eco – Región Lachuá.

Para el resto del país no se encontraron publicaciones de investigaciones, más que colectas aisladas publicadas en *Checklist*, como el publicado por la Universidad de Perdue (2007) y Wieserma y McCaferty (2000).

Algunos autores proponen la utilización de la mayor información posible que pueda obtenerse de un sistema hídrico, esto involucra información fisicoquímica e información biológica (Rosenberg *et al.* 1997).

La información biológica que puede obtenerse de un sistema hídrico consiste en los patrones de diversidad de los organismos que habitan estos sistemas. Por ejemplo diatomeas, macroinvertebrados acuáticos, macrófitas acuáticas y peces (Fernández, 2001; Alba-Tercedor, 1996) debido a que existe una relación entre su distribución y las características fisicoquímicas de su entorno, ya que fisiológicamente solo pueden vivir en ciertos rangos de los parámetros fisicoquímicos.

A partir del conocimiento de las condiciones en que se distribuyen los macroinvertebrados bentónicos se han empleados diversos índices biológicos como índices bióticos de la calidad del agua:

- El índice de diversidad Shanon - Wiener utilizado para determinar la diversidad α (Magurran, 1988; Mandaville, 2002).
- El índice Biótico de Familias - IBF - desarrollado para Norteamérica (Mandaville, 2002).
- El índice *Biological Monitoring Working Party* – BMWP - desarrollado en Inglaterra (Mandaville, 2002), es uno de los más populares ya que es cualitativo. Ha sido modificado para la Península Ibérica (Alba-Tercedor y Sánchez, 1988) y para Colombia por Roldan (2006)
- El índice Ephemeroptera-Plecoptera-Tricoptera - EPT - entre otros.

Marco referencial

Características del sitio de Estudio

Las lagunas y lagos de interés (Yaxhá, Sacnab, Petenche, Quexil, Salpetén, Macanche, Sacpuy y Petén Itzá) se encuentran localizadas en las tierras bajas de Petén, en la biosfera maya, esta corresponde a la vertiente del Golfo de México, a la cuenca del río Usumacinta y a la subcuenca del río San Pedro. El área está localizada entre las coordenadas - 90.066, - 89.320 latitud norte y 17.315, 16.859 longitud oeste, tiene una elevación máxima de 400 msnm. Estos cuerpos de agua se encuentran en la parte central del departamento del Petén, Guatemala. Se encuentra bajo la jurisdicción de las municipalidades de San José al norte, San Andrés al oeste, Flores, San Benito y Melchor de Mencos.

En la región existe una alta pluviosidad (promedio de 1,730 mm/año), siendo la temperatura promedio de 24.3 °C, con un rango de 15 – 37 °C. (Basterrechea, 1985), La región presenta una topografía cárstica en que predomina el bioma de Selva Tropical Húmeda, con cubierta vegetal semicaducifolia y bosque primario y secundario. La zona de vida, según Holdridge, es bosque muy húmedo subtropical (cálido). El origen de los cuerpos de agua es tectónico y cárstico, presentando depresiones formadas como consecuencia de levantamiento marino y disolución de material calcáreo.

Generalidades del Área de Estudio

Las lagunas de la región se alimentan principalmente de aguas subterráneas, desde el drenaje del Río San Pedro. No cuenta con desagües superficiales. (Pape, 2002). La humedad relativa para el área se presenta con una máxima de 79% y una baja de 50% en verano. Los vientos soplan de sureste y noreste y las velocidades fluctúan entre 6.7 Km/h a 13.2 Km/h, siendo más fuertes en los meses de enero a mayo.

La precipitación promedio anual del área es de 1,555.2 mm. Los meses con mayor precipitación en la región van de junio a octubre. La estación seca se extiende de enero a abril. En el período de mayor precipitación, el proceso de lixiviación y filtración de agua es más profundo, alterando la química de los suelos y del cuerpo de agua al producirse un lavado de las sales de los suelos.

La evaporación del agua puede alcanzar los 1,400 mm/año en el lago Petén Itzá, valor similar a la precipitación. Los valores de evaporación no parecen tener mayor incidencia en las variaciones del lago, por lo que mantiene en balance hídrico estable (Basterrechea, 1988; Pape, 2002).

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

Fauna y Flora del Área de Estudio

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

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

En la región se encuentran varias especies de peces, algunas de ellas nativas como el Pez Blanco (*Petenia splendida*). También se encuentra el Guapote (*Cichlasoma friedrichsthalii*), Bull amarillo (*Cichlasoma urophthalmus*), la Anguila (*Anguilla rostrata*), la Sardina de Leche (*Dorsoma petenense*), la Pepesca (*Astyanax aeneus*), la Sardinita (*Hyphessobrycon sp.*) y el Filín o Juilín (*Rhamdia guatemalensis*) (Reyes, 2007; Pape, 2002). Se pueden observar garzas, martines pescadores, pato coche, patos, playeros, etc.

Las especies más comunes de anfibios y reptiles son el Sapo lechero (*Bufo marinus*), Sapo costero (*B. valliceps*), Cocodrilos (*Cocodrylus moreletii*), Tortugas (Pochitoques, *Kinosternon spp.*; Tortuga blanca, *Dermatemys mawii*; Jicotea, *Trachemys scripta*), Basiliscos (*Basiliscos vitatus*), Iguanas (*Iguana iguana*) y serpientes como la Mazacuata (*Boa constrictor*) (Dix, 2001).

Poblaciones humanas

Los cuerpos de agua de la subcuenca del Río San Pedro son un refugio de fauna acuática endémica regional, de aves y asociaciones de vegetación en sus orillas. En el área existen asentamientos humanos de rápido crecimiento que habitan en el territorio de Flores, San Benito, San José y San Andrés. Las principales poblaciones humanas que se encuentran son San Benito, Santa Elena, San Miguel, Flores, San Andrés, San José, San Pedro, Jobompiche, Cerro Cahuí, El Remate, Ixlú, Macanché, Salpetén, Santa Elena, entre otras. Las principales actividades en los cuerpos acuáticos son la pesca, el turismo y uso como agua doméstica (Pape, 2002).

La subcuenca del Río San Pedro se encuentra bajo una alta presión humana, debido a la deforestación de la selva tropical, el manejo de potreros y zonas ganaderas, nuevos asentamientos, los cuales afectan el grado de conservación de los cuerpos de agua, la biodiversidad, la estabilidad de los suelos y la ecología de sistema lacustre (Oliva, 2005).

JUSTIFICACIÓN

Los cuerpos de agua son un recurso hídrico de suma importancia, tanto para las poblaciones humanas, como para las poblaciones de flora y fauna. Los insectos acuáticos cumplen papeles básicos en el funcionamiento de los ecosistemas.

El presente estudio pretende contribuir con la conservación y manejo de los recursos naturales del país por medio de la investigación ecológica y taxonómica de insectos acuáticos y la caracterización de estos recursos y así implementar el uso de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala.

Además el proyecto busca desarrollar un instrumento económico, práctico, confiable y reproducible en cualquier sistema hídrico, para monitorear los cambios en la calidad del agua causados por el cambio en el uso de la tierra y el impacto humano y así poder elaborar planes para mejorar el manejo de los recursos edáficos e hídricos.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

- Evaluar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cuerpos de agua.
- Contribuir a la implementación del uso de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en Guatemala.

Objetivos Específicos

- Determinar la variación de los parámetros fisicoquímicos y su relación con los cambios en el uso de la tierra y el estado de conservación en cuerpos de agua lénticos de la subcuenca del Río San Pedro.
- Determinar la calidad del agua en los cuerpos de agua lénticos de la Sub Cuenca del Río San Pedro en base a los valores de los parámetros fisicoquímicos.
- Conocer la composición y distribución de insectos acuáticos en cuerpos de agua lénticos de la SubCuenca del Río San Pedro.
- Evaluar la correlación de la calidad del agua y los índices bióticos

METODOLOGÍA

Selección de Sitio y Muestreo

Los sitios se ubicaron a partir de fotointerpretación. En cada uno de los sitios seleccionados se realizó una verificación de campo, con el fin de confirmar el uso de la tierra existente en el área y evaluar si puede ser seleccionado como un sitio de colecta. En cada sitio de colecta se tomaron datos durante dos meses. Con lo que se obtuvieron dos 2 réplicas temporales por sitio de colecta (Tabla 1). Se obtuvo un total de 200 muestras al final del trabajo de campo. En cada sitio se tomaron datos fisicoquímicos del agua y se colectaron muestras de sedimentos para encontrar macroinvertebrados acuáticos.

Tabla 1. Numero de Parcelas, Transectos y Tratamientos por cada sitio de Muestreo. Bosque (Bsq), Potrero (Ptr) y Poblado (Pob).

Localidad	Tratamiento	Número Total	
		Transectos	Muestras
Lago Petén Itzá	Bsq	2	8
	Ptr	2	8
	Pob	2	8
Laguna Sacpuy	Bsq	2	8
	Ptr	1	4
	Pob	1	4
Laguna Macanché	Bsq	2	8
	Ptr	1	4
	Pob	1	4
Laguna Salpetén	Bsq	2	8
	Ptr	1	4
Laguna Quexil	Bsq	2	8
Laguna Petenchel	Bsq	2	8
Laguna Yaxhá	Bsq	2	8
Laguna Sacnab	Bsq	2	8
Total		25	100

Fuente: Datos de Campo, 2009.

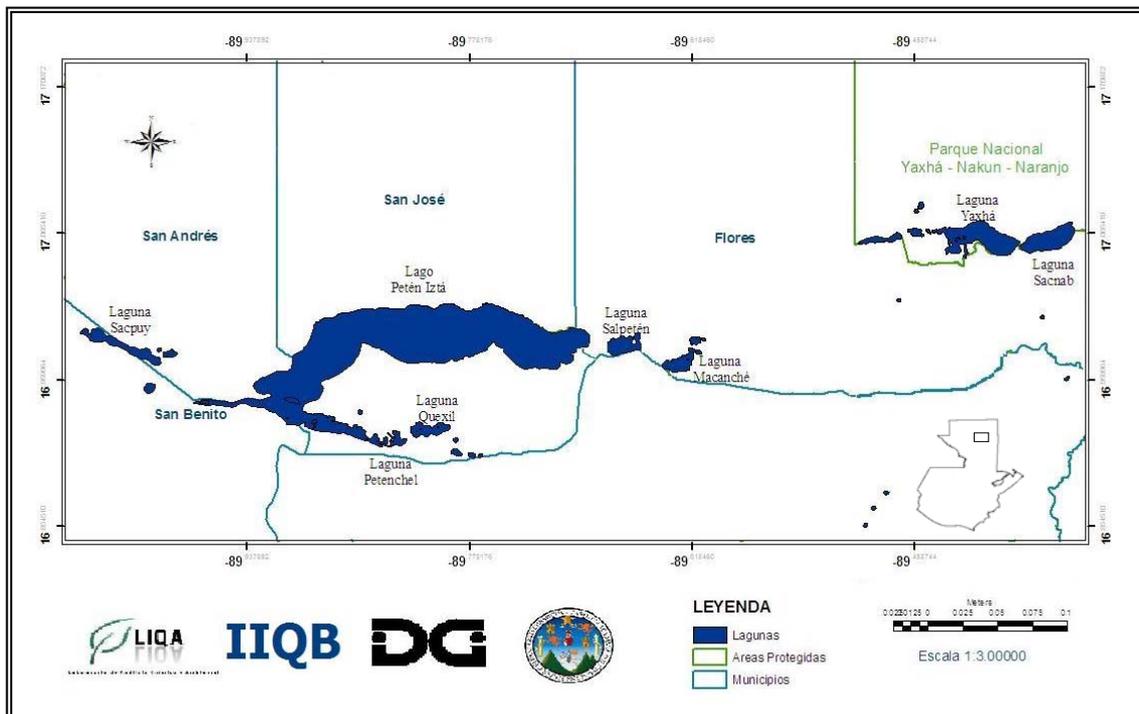


Figura 1. Mapa de localización Geográfica de los Sitios de colecta en la Región Maya Tikal – Yaxhá.

Muestreo de Insectos acuáticos

Se seleccionaron 8 lagunas para el levantamiento de datos, para la colecta de sedimentos se utilizó una Draga Ekman de 6” x 6” x 6”. En cada cuerpo de agua se seleccionaron entre tres y cuatro sitios de colecta, dependió de la dimensión del cuerpo de agua y la presencia de los tratamientos seleccionados. En cada sitio de colecta se tomaron 4 submuestras. Cada muestra de sedimentos tomada era almacenada en una bolsa plástica Ziploc de un galón de capacidad y preservados con alcohol al 80%.

Los insectos encontrados se almacenaron en frascos de plástico o vidrio y se preservaron con alcohol al 80 % y glicerina, cada frasco se rotuló con datos de localidad, responsable, fecha de colecta, fecha de limpieza y número de muestra, para su posterior identificación con claves especiales.

Los especímenes colectados fueron determinados taxonómicamente al mayor nivel posible y luego almacenados en viales debidamente rotulados y etiquetados, para ser ingresadas a la colección de referencia del Museo de Historia Natural de la Escuela de Biología.

Parámetros Físicoquímicos

En cada punto de muestreo se tomaron los siguientes parámetros: Oxígeno Disuelto mg/L, Oxígeno Disuelto %, pH, Temperatura del Agua, Temperatura Ambiental, Humedad Relativa %, Conductividad, Salinidad, Sólidos Disueltos Totales (TDS), Nutrientes (Nitritos, Nitratos, Amonio, N Total, Fosfatos, F Total), Sulfatos, Profundidad (mts), Clima, Color del Agua, Corriente, Olor del agua, Aceites presentes en el agua, Turbidez, Uso de la Tierra, Fuentes de Contaminación, Sustratos, Olor del sustrato y Aceites presentes en el sustrato.

La medición de los parámetros físicoquímicos se realizó de acuerdo a los procedimientos estándar de EPA y APHA-AWWA (1998). Las muestras de agua fueron colectadas en botellas plásticas. Las botellas fueron previamente tratadas con ácidos para eliminar cualquier contaminación de las muestras y se transportaron al laboratorio en hieleras para mantener una temperatura de aproximadamente 4°C. Se colectaron muestras de 1 y 2 litros dependiendo del análisis para el cual se destinaron cada una. Todos los sitios se registraron por medio de un sistema de posicionamiento global. Las mediciones físicoquímicas se realizaron con un Multiparamétrico Portátil MULTILI 340i WTW y Potenciómetro Portátil HACH Senslon.

Análisis de Datos

Con el objetivo de analizar los rangos y el comportamiento general de los parámetros físico - químicos se empleó estadística descriptiva. De esta forma se analizó el estado trófico de los cuerpos lénticos de la Biosfera Maya.

Se utilizó estadística descriptiva para evaluar las riquezas abundancias relativas de los insectos acuáticos y las diferencias entre los sitios.

La diversidad (α) se evaluó por medio de los índices de Shannon-Weaver (H'), el índice de Dominancia de Simpson (D) y el índice de equidad (E) (Mandaville, 2002; Magurran, 2004).

Para estimar la riqueza total de los insectos acuáticos representada en los diferentes cuerpos de agua se realizaron curvas de acumulación de especies, con los estimadores ICE, Jackknife y Chao 2 basados en la incidencia de especies (Presencia/Ausencia) (Chao, 2005). Se utilizó Jackknife por su mejor desempeño con pocas muestras (Coldwell y Coddington, 1994). Se utilizó el programa EstimateS 8.0 para todas las estimaciones (Coldwell, 2005).

El grado de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la distribución de los insectos acuáticos se evaluaron con un análisis de componentes principales (PCA) y un análisis de redundancia (RDA) por medio del programa CANOCO (Legendre y Legendre, 1998). La distribución de los insectos acuáticos y similitud de los ensambles que conforman en cada cuerpo de agua se evaluó por medio de un análisis de agrupamiento jerárquico.

RESULTADOS

Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

En los muestreos realizados durante los meses de junio a septiembre del año 2009, se encontró que los valores más altos de oxígeno disuelto fueron reportados en la Laguna Yaxhá con seguido del Lago Petén Itzá, mientras que los menores valores se reportaron en la laguna de Petenchel (Anexo 2). En general el Oxígeno Disuelto se encuentra en un rango de 6.2 mg/L (82.7%) y 14.8 mg/L (127%) (Figura 2). Los valores se encuentran entre lo permisible para aguas dulces (EPA, 1986; Roldán, 1992; Wetzel, 2005).

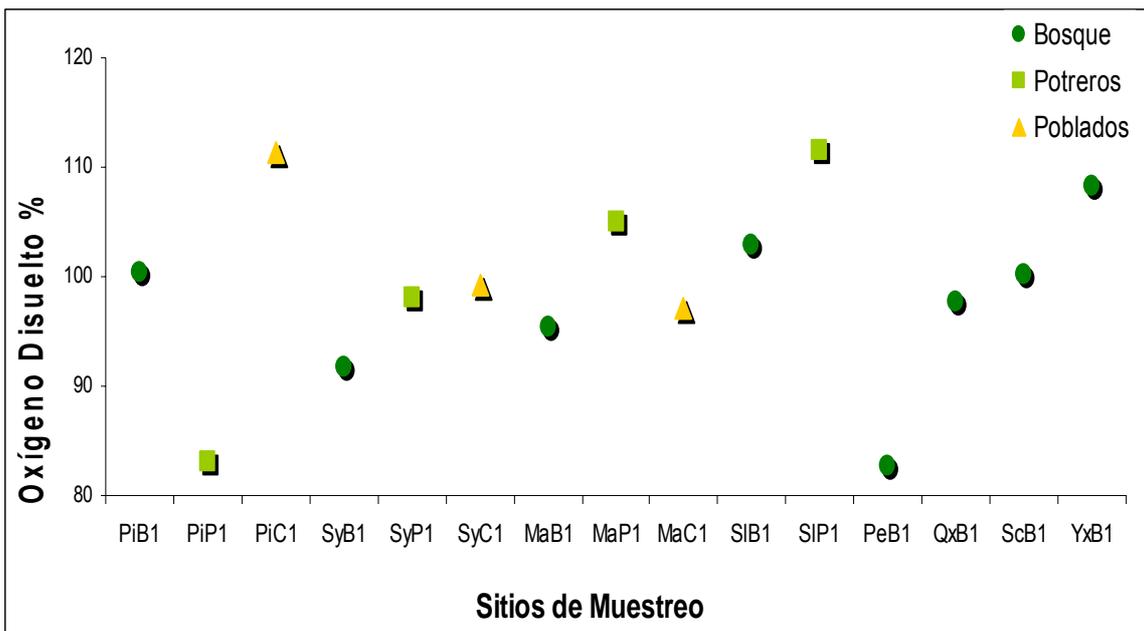


Figura 2. Rangos de Oxígeno Disuelto en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomados entre junio y septiembre de 2009

En cuanto al Potencial de Hidrógeno (pH) de los cuerpos de agua estudiados, los valores mayores se registraron en la Laguna Sacpuy y el Lago Petén Itzá, los valores oscilan entre 9.0 y 10.7 respectivamente (Anexo 2). Los menores valores se registraron en la laguna de Yaxhá. En general el Potencial de Hidrógeno (pH) se encuentra en un rango de 7.0 y 10.7 (Figura 3), esto debido al origen del sustrato (piedra caliza) de los cuerpos de agua.

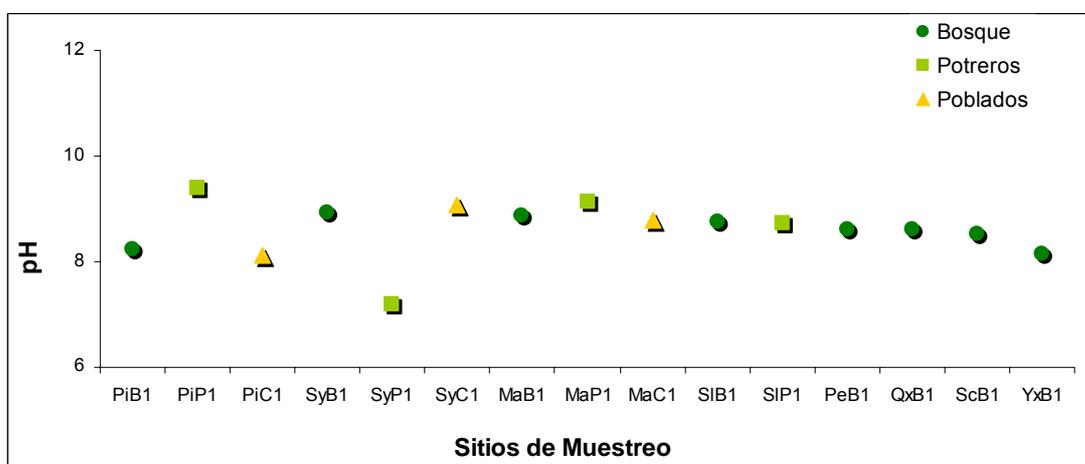


Figura 3. Rangos de Potencial de Hidrógeno (pH) en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomados entre junio y septiembre de 2009

Los valores de temperatura de igual forma se encuentran entre lo permisible para aguas dulces, los valores se encuentran entre un rango de 29.6 y 34.8 °C (Anexo 2). Los valores más bajos se encuentran registrados en los sitios asociados a bosque en comparación con los otros tratamientos. Los valores mas bajos fueron registrados en Macanché y los más altos en Salpetén y Petenchel (Figura 4) sin embargo los valores en general son muy variados.

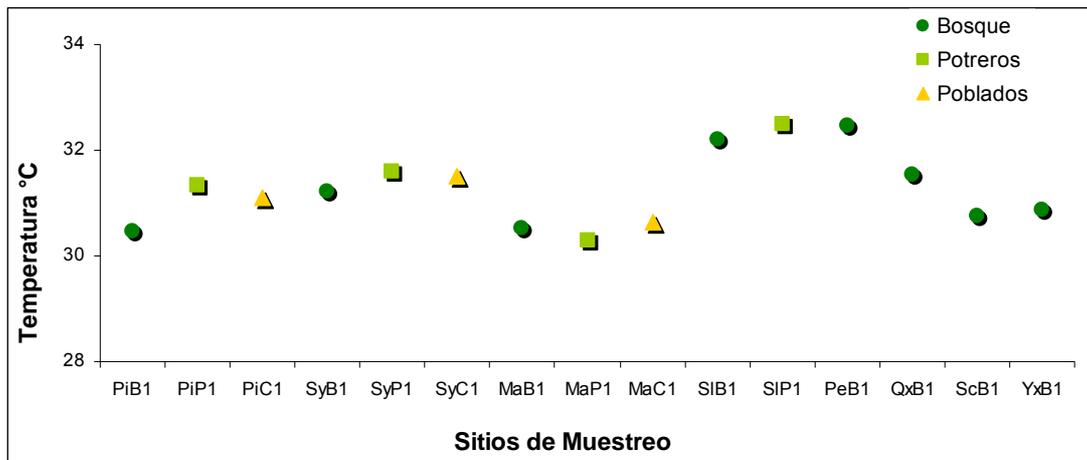


Figura 4. Rangos de Temperatura en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomados entre junio y septiembre de 2009

La Conductividad presentó valores variados, los valores más bajos fueron reportados en la laguna de Sacpuy con concentraciones que van desde los 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los valores más altos fueron registrados en la Laguna de Salpetén con valores por arriba de 4300. El mismo comportamiento se observó en los Sólidos Totales Disueltos (TDS) y en los Sulfatos, esto es debido a que estos parámetros se encuentran muy correlacionados entre si, además reflejan que están muy relacionados con el tipo del sustrato del lecho del cuerpo de agua, en estas lagunas se encuentran muchas sales y sólidos en toda la columna de agua (Anexo 2).

Los valores promedio para Nitrógeno de Amonio, Nitrógeno de Nitritos, Nitrógeno de Nitratos y Nitrógeno Total fueron 0.151, 0.015, 0.06 y 0.33 mg/L, respectivamente (Figura 5). Los valores promedio para Fósforo de Ortofosfatos y Fósforo Total fueron 0.041 y 0.05 mg/L, respectivamente (Figura 6). Los valores de los nutrientes evaluados se encuentran dentro de los rangos propuestos por Roldán (1992) y Wetzel (2001) para clasificar un lago como oligotrófico y mesotrófico, excepto Fósforo Total y Fósforo de Ortofosfatos (Anexo 2).

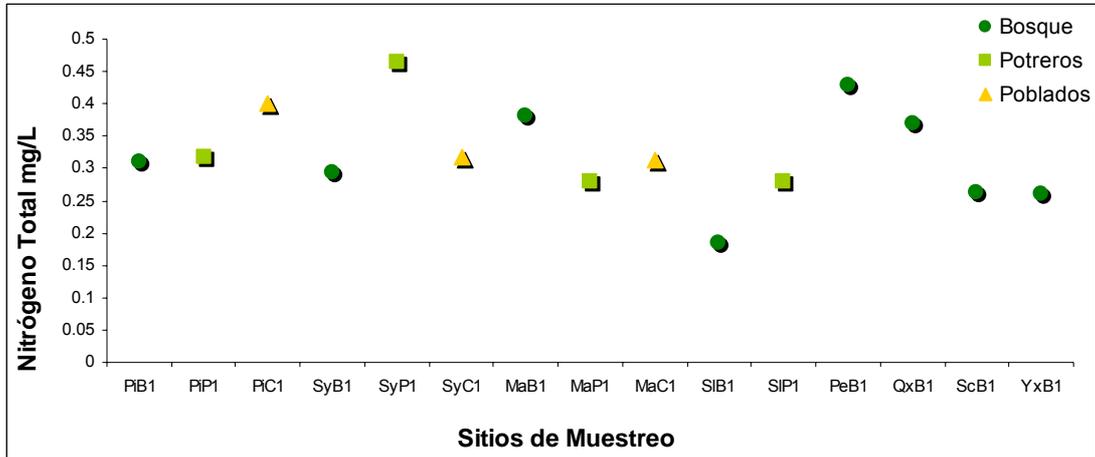


Figura 5. Valores de Nitrógeno Total en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, entre junio y septiembre de 2009

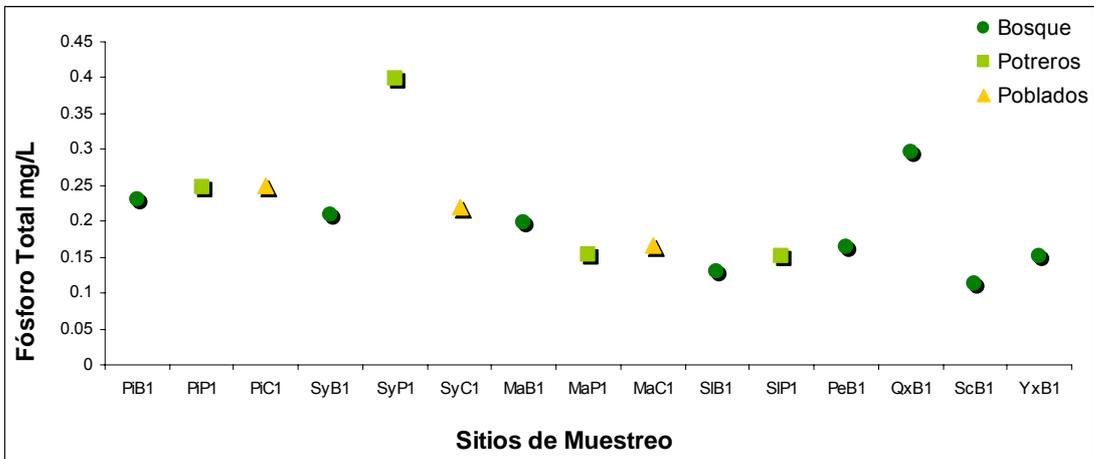


Figura 6. Valores de Fósforo Total en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, entre junio y septiembre de 2009

Caracterización de los Insectos Acuáticos en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya

De junio a septiembre de 2009 se colectó un total de 9,943 especímenes en los 8 cuerpos lénticos estudiados, de estos 7,389 son insectos acuáticos. Los especímenes pertenecen a 48 taxas de macroinvertebrados acuáticos distribuidos en 3 Phylas, 7 Clases, 11 Órdenes y 21 Familias. De los 48 taxas colectados 35 fueron determinados hasta nivel de género (Tabla 2).

Tabla 2. Listado taxonómico de especímenes colectados de junio a septiembre de 2009 en el las lagunas Macanché, Petenchel, Quexil, Sacnab, Sacpuy, Salpetén, Yaxhá y el Lago Petén Itzá.

Phyla	Clase	Orden	Familia	Taxón		
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxida		Haplotaxida sp.		
	Hirudinea	Rhynchobdellida		Rhynchobdellida sp.		
Arthropoda	Hexapoda	Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis sp.</i>		
			Caenidae	<i>Caenis sp.</i>		
			Leptophlebiidae	<i>Choroterpes sp.</i>		
				<i>Farrodes sp.</i>		
				<i>Thraulodes sp.</i>		
			Odonata	Coenagrionidae	<i>Acanthagrion sp.</i>	
					<i>Argia sp.</i>	
					<i>Enallagma sp.</i>	
					<i>Leptobasis sp.</i>	
					Gomphidae	<i>Archaeogomphus sp.</i>
					<i>Progomphus sp.</i>	
					Libellulidae	<i>Erythemis sp.</i>
						<i>Perithemis sp.</i>
			Protoneuridae	<i>Neoneura sp.</i>		
				<i>Protoneura sp.</i>		

Phyla	Clase	Orden	Familia	Taxón
		Hemiptera	Bellostomatidae	<i>Lethocerus sp.</i>
			Gerridae	<i>Rheumatobates sp.</i>
		Coleoptera	Anthicidae	<i>Anthicidae sp.</i>
			Dryopidae	<i>Helichus sp.</i>
			Elmidae	<i>Heterelmis sp.</i>
				<i>Hexacylloepus sp.</i>
				<i>Microcyллоepus sp.</i>
			Scirtidae	<i>Scirtes sp.</i>
			Staphylinidae	<i>Stenus sp.</i>
		Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Calamoceratidae sp.</i>
			Hydroptilidae	<i>Mayatrichia sp.</i>
				<i>Neotrichia sp.</i>
				<i>Oxyethira sp.</i>
				<i>Rhyachopsyche sp.</i>
			Leptoceridae	<i>Oecetis sp.</i>
			Polycentropodidae	<i>Polycentropus sp.</i>
		Diptera	Ceratopogonidae	<i>Atrichopogon sp.</i>
				<i>Bezzia sp.</i>
				<i>Probezzia sp.</i>
			Chironomidae	Chironomidae sp. 1
				Chironomidae sp. 2
				Chironomidae sp. 3
				Chironomidae sp. 4
			Tipulidae	Tipulidae sp.
	Arachnida	Araneae		Araneae sp.
		Trombidiformes		Trombidiformes sp.
	Ostracoda			Ostracoda sp.
	Malacostraca	Amphipoda		Amphipoda sp.
Mollusca	Bivalvia			Bivalvia sp.

Fuente: Datos de Campo, 2009.

De los grupos de macroinvertebrados colectados, los insectos acuáticos (Subclase Insecta, Clase Hexapoda) son los que presentan mayor riqueza (40 taxas) y abundancia (7,389 especímenes), representando el 85% de las morfoespecies colectadas y el 74% de los especímenes colectados. En riqueza le sigue la Clase Arachnida con 2 morfoespecies, y en abundancia relativa la Clase Malacostraca con 21.3% del total de los individuos colectados (Tabla 3).

Tabla 3. Riqueza y Abundancia relativa de las clases de Macroinvertebrados Acuáticos colectados en los 8 cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya en el período comprendido de junio a septiembre de 2009. La riqueza esta dada por el número de taxa y la abundancia relativa como porcentaje de especímenes sobre un total de 9,943.

Clase	Riqueza	Abundancia Relativa (%)
Oligocheta	1	1.11
Hirudinea	1	1.45
Hexapoda	40	74.07
Arachnida	2	1.07
Ostracoda	1	0.95
Malacostraca	1	21.33
Bivalvia	1	0.03

Fuente: Datos de Campo, 2009.

Dentro de la Subclase Insecta los ordenes con mayor riqueza taxonómica son Odonata (11), Coleóptera (7), Trichoptera (7) Ephemeroptera (5) y Díptera (5), (Figura 7). Los Órdenes de la Subclase Insecta, Díptera y Coleóptera representan el 88.8% del total de insectos colectados.

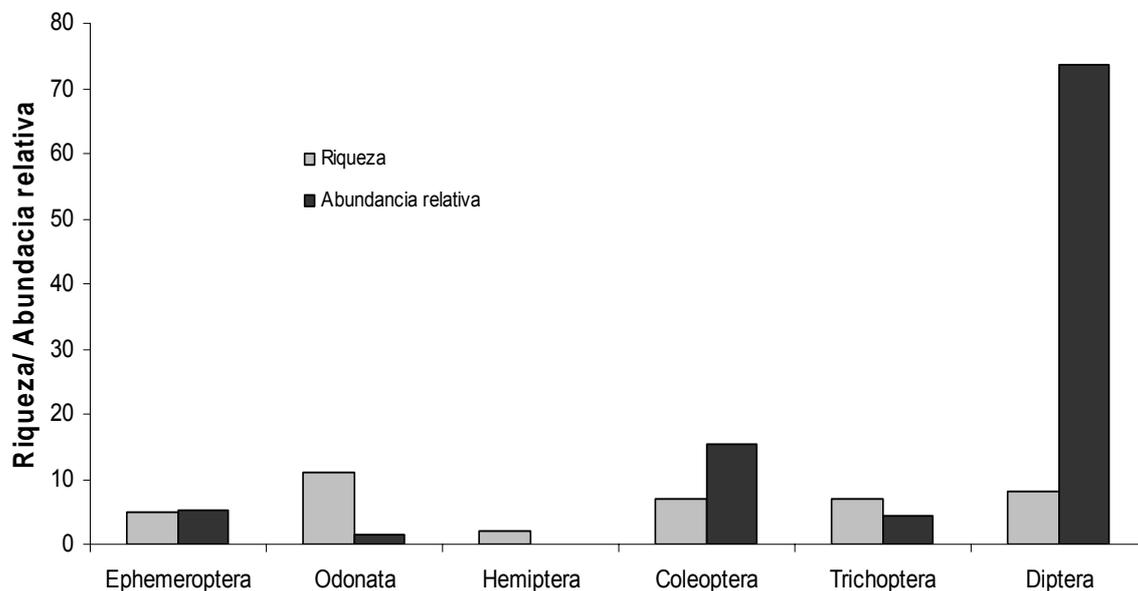


Figura 7. Riqueza y abundancia relativa de los Órdenes de la Subclase Insecta colectados en los 8 cuerpos lénticos de la Biosfera Maya en el periodo comprendido de junio a septiembre de 2009.

La riqueza esta dada por el número de taxa y la abundancia relativa como porcentaje de especímenes sobre un total de 7,365 insectos colectados.

Al orden Díptera pertenece la morfoespecie más abundante *Chironomidae* sp. 1 (Diptera: *Chironomidae*), cuya abundancia relativa representa el 42.3% de todos los especímenes colectados y 57.2% del total de insectos. El segundo y tercer género de insectos más abundantes son *Hexacylloepus* sp. (9.9% de todos los especímenes y 13.4% de los insectos) y *Chironomidae* sp. 2 (4.8% de todos los especímenes y 6.5 del total de insectos) (Figura 8).

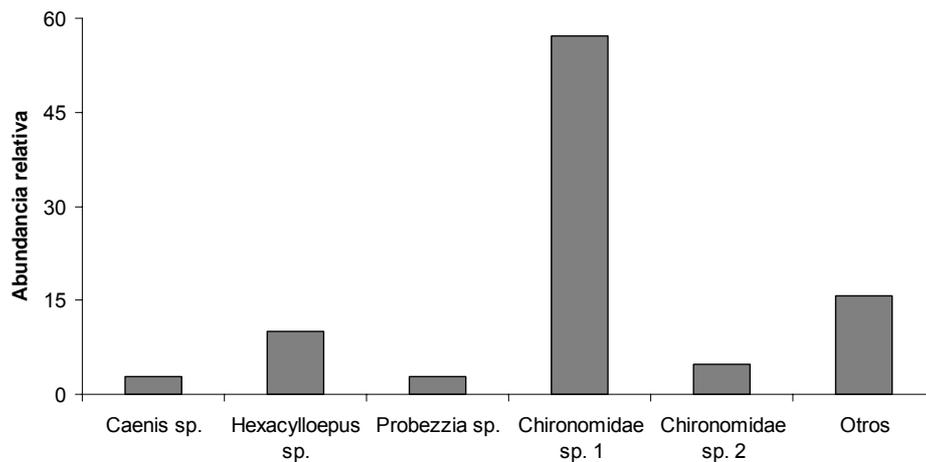


Figura 8. Abundancia relativa de los taxa de la Subclase Insecta determinados al nivel taxonómico más específico posible. Especímenes colectados en los 8 cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya en el periodo comprendido de junio a septiembre de 2009.

Riqueza y Abundancia de Insectos Acuáticos en Cuerpos Lénticos

Al evaluar la riqueza de los 3 tratamientos estudiados, se encontró que esta aumentó en la segunda colecta con respecto a la primera. La media de la riqueza fue mayor en los tratamientos con poblados para ambas colectas. En los bosques se obtuvieron los valores máximos de riqueza, pero también los mínimos. Los sitios con menor riqueza siempre fueron los potreros (Figura 9). No obstante, mediante una prueba no paramétrica de Kruskal- Wallis se obtuvo que no existe diferencia significativa entre la riqueza media de los 3 tratamientos en ninguna de las dos colectas ($p = 0.51$, primera colecta; $p = 0.08$, segunda colecta).

En términos de abundancia, en la primera colecta los sitios con comunidades cercanas tuvieron una media mayor (4.2%) que los sitios con potreros (3.9%) y bosques (2.5%) (Figura 10). En la segunda colecta en los sitios con bosque se colectaron más especímenes (4.5%) que en los sitios con comunidades (3.9%) o potreros (1.9%). De nuevo no existe diferencia significativa entre las medias de los distintos tratamientos en la primera ($p=0.41$) y segunda colecta ($p=0.60$).

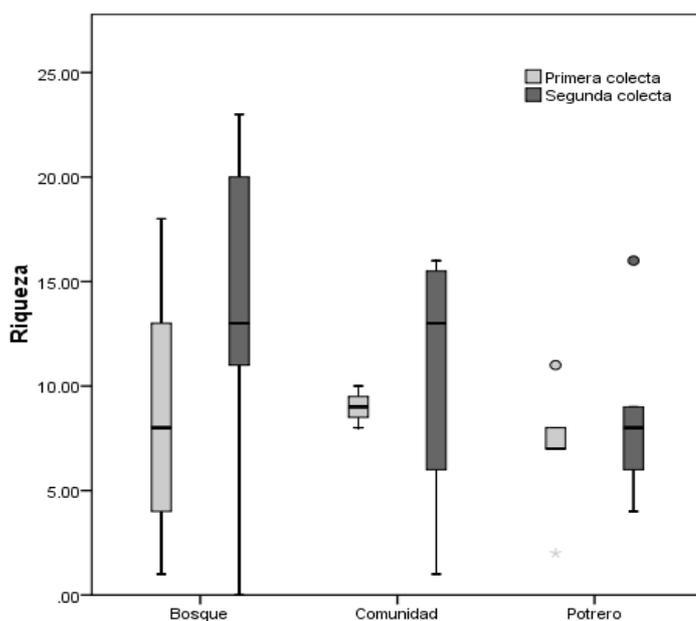


Figura 9. Riqueza registrada en los tratamientos de Bosque, Poblados y Potrero de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya para las dos fechas de colecta.

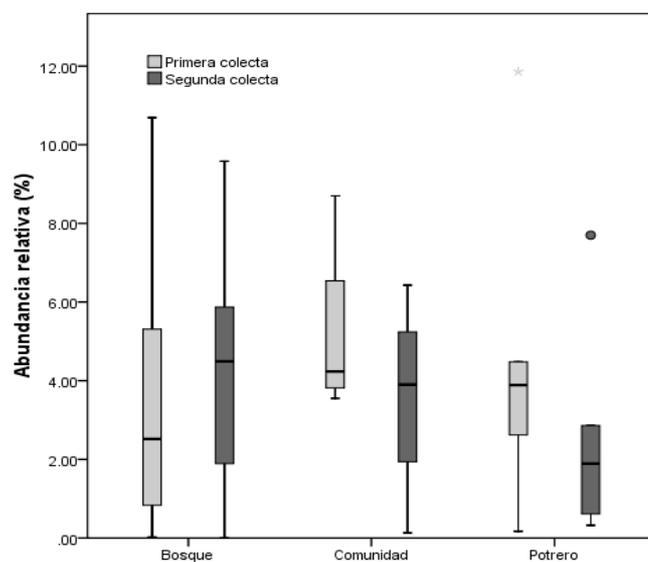


Figura 10. Abundancia relativa registrada en los tratamientos de Bosque, Poblados y Potrero de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya para las dos fechas de colecta.

En la primera colecta la riqueza varió 1 a 18 taxas por sitio, siendo el más rico en morfoespecies diferentes el bosque 2 de Quexil y el menos rico el bosque 1 de Macanché (Figura 11). Los lugares en que más especímenes fueron colectados en esa ocasión fueron en el Potrero de Salpetén (11.9%) y el bosque 2 de Quexil (10.7%) (Figura 12).

Los sitios con mayor diversidad (Tabla 4), según el índice de Shannon-Weaver, para esa primera colecta fueron el bosque 2 en el Lago Petén Itzá, bosque 2 de Quexil y bosque 1 de Petenchel; y entre los sitios menos diversos estuvieron bosque 1 de Macanché, bosque 2 de Yaxhá y potrero de Macanché. Los bosques 2 del Lago Petén Itzá, Quexil y Sacnab fueron los que presentan menor dominancia con pocas morfoespecies en el ensamble de insectos acuáticos del lugar. El sitio con mayor equidad en el ensamble fue el bosque 1 de la Laguna de Sacpuy.

El sitio con mayor abundancia relativa fue en el bosque 2 de Quexil (9.6%), potrero de Macanché (7.7%) y el bosque 2 de Sacpuy (7.1%) (Figura 12). Donde se presentó mayor diversidad (Tabla 4), según el índice de Shannon-Weaver, fue en el bosque 2 y 1 del Lago Petén Itzá, mientras que los menos diversos fueron el poblado y potrero de Sacpuy. La dominancia de unas cuantas morfoespecies en el ensamble de macroinvertebrados fue mayor en el poblado de Sacpuy seguido por el bosque 2 de Sacpuy. El sitio con menor dominancia fue el bosque 2 del Lago Petén Itzá y el que tuvo mayor equidad fue el bosque 1 de Sacnab.

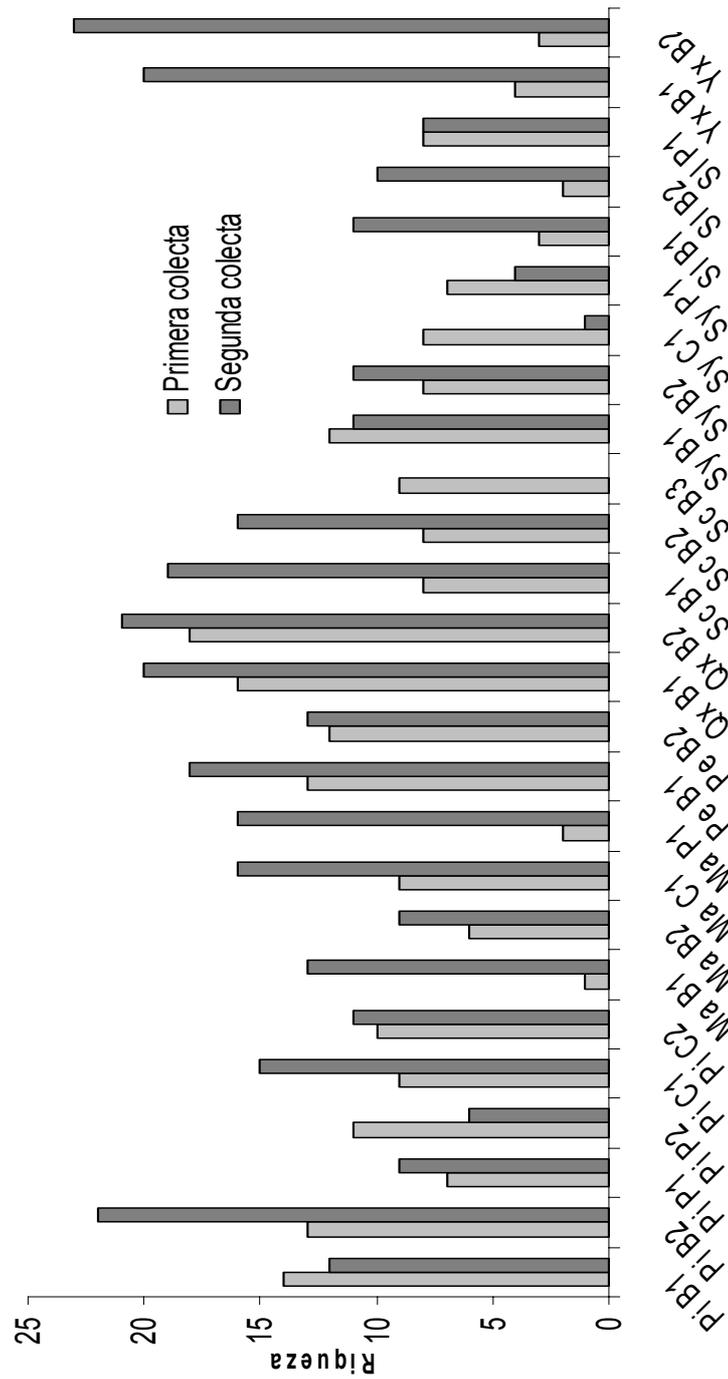


Figura 11. Riqueza de cada uno de los sitios de muestreo en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya en la primera y segunda colecta.

Pi = Petén Itzá, Ma = Macanché, Pe = Petenchel, Qx = Quexil, Sc = Sacnab, Sy = Sacpuy,

SI = Salpetén, Yx = Yaxhá. B= Bosque, C=Comunidad, P= Potrero

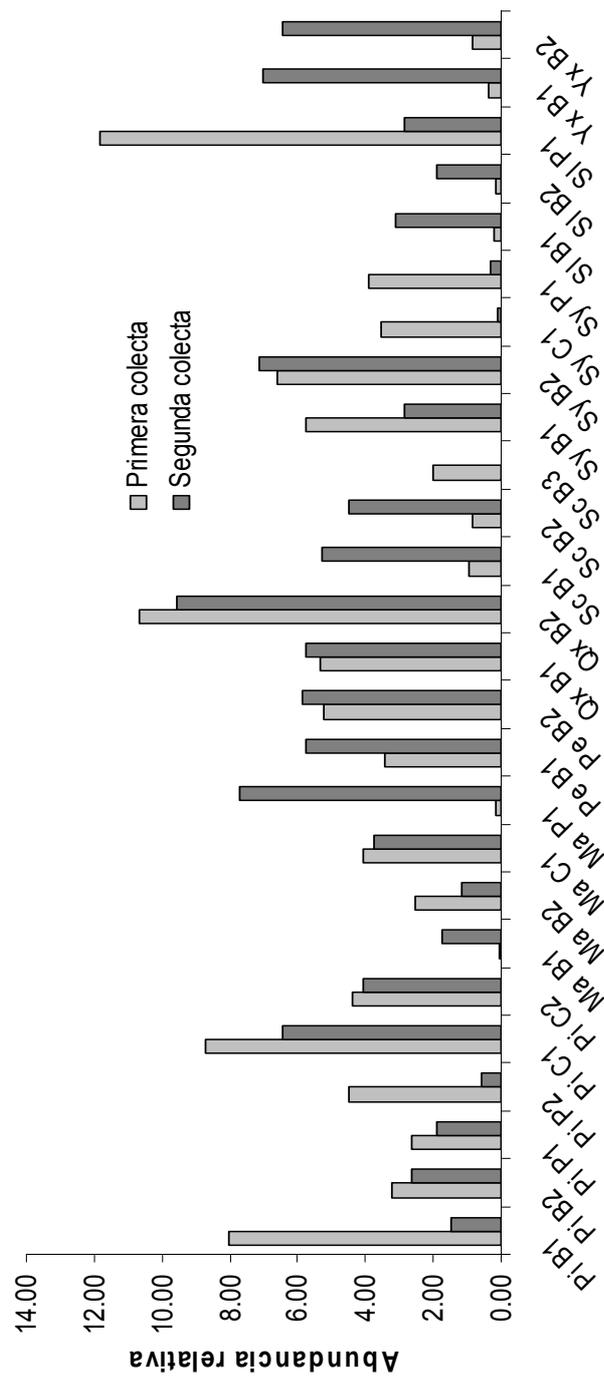


Figura 12. Abundancia relativa de cada uno de los sitios de muestreo en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya en la primera y segunda colecta.

Pi = Petén Itzá, Ma = Macanché, Pe = Petenchel, Qx = Quexil, Sc = Sacnab, Sy = Sacpuy,
 SI = Salpetén, Yx = Yaxhá. B= Bosque, C=Comunidad, P= Potrero

Tabla 4. Valores de riqueza, abundancia y diversidad de la primera colecta y segunda colecta para cada uno de los sitios de muestreo en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya.

Tratamiento *	Primera Colecta						Segunda Colecta					
	S ¹	Abs. ²	Rel. ³	D ⁴	H ⁵	E ⁶	S ¹	Abs. ²	Rel. ³	D ⁴	H ⁵	E ⁶
Pi B1	14	242	8.0	0.291	1.621	0.361	12	104	1.5	0.161	2.006	0.619
Pi B2	13	97	3.2	0.200	1.989	0.562	22	183	2.6	0.136	2.323	0.464
Pi P1	7	79	2.6	0.262	1.496	0.638	9	131	1.9	0.255	1.578	0.539
Pi P2	11	135	4.5	0.497	1.167	0.292	6	42	0.6	0.302	1.377	0.660
Pi C1	9	262	8.7	0.499	1.093	0.332	15	446	6.4	0.499	1.214	0.225
Pi C2	10	132	4.4	0.246	1.655	0.524	11	281	4.1	0.330	1.511	0.412
Ma B1	1	1	0.0	1.000	0.000	1.000	13	121	1.7	0.332	1.521	0.352
Ma B2	6	76	2.5	0.759	0.576	0.297	9	80	1.2	0.341	1.430	0.464
Ma C1	9	123	4.1	0.456	1.014	0.306	16	260	3.8	0.315	1.625	0.317
Ma P1	2	5	0.2	0.680	0.500	0.825	16	534	7.7	0.417	1.332	0.237
Pe B1	13	103	3.4	0.231	1.803	0.467	18	400	5.8	0.307	1.504	0.250
Pe B2	12	157	5.2	0.505	1.234	0.286	13	407	5.9	0.378	1.238	0.287
Qx B1	16	160	5.3	0.225	1.874	0.407	20	400	5.8	0.209	1.980	0.362
Qx B2	18	322	10.7	0.203	1.918	0.378	21	664	9.6	0.253	1.855	0.305
Sc B1	8	29	1.0	0.348	1.464	0.541	19	367	5.3	0.493	1.205	0.176
Sc B2	8	26	0.9	0.219	1.760	0.727	16	311	4.5	0.223	1.924	0.428
Sy B1	12	173	5.7	0.633	0.972	0.220	11	197	2.8	0.422	1.252	0.318
Sy B2	8	199	6.6	0.485	1.141	0.391	11	495	7.1	0.647	0.821	0.207
Sy C1	8	107	3.6	0.294	1.470	0.544	1	9	0.1	1.000	0.000	1.000
Sy P1	7	117	3.9	0.393	1.194	0.471	4	22	0.3	0.682	0.663	0.485
SI B1	3	7	0.2	0.388	1.004	0.910	11	217	3.1	0.311	1.477	0.398
SI B2	2	5	0.2	0.520	0.673	0.980	10	131	1.9	0.427	1.275	0.358
SI P1	8	357	11.9	0.316	1.397	0.505	8	198	2.9	0.431	1.043	0.355
Yx B1	4	11	0.4	0.388	1.121	0.767	20	487	7.0	0.236	1.808	0.305
Yx B2	3	25	0.8	0.782	0.443	0.519	23	445	6.4	0.272	1.831	0.271

Fuente: Datos de Campo, 2009.

* Pi = Petén Itzá, Ma = Macanché, Pe = Petenchel, Qx = Quexil, SC = Sacnab, Sy = Sacpuy, SI = Salpetén, Yx = Yaxhá; B = Bosque, C = Comunidad, P = Potrero. ¹ S = Riqueza, ² Abs.= abundancia absoluta, ³ Rel. = abundancia relativa, ⁴ D= dominancia, ⁵ H= índice de Shannon-Weaver, ⁶ E= equidad.

Curvas de acumulación de especies

Para estimar cuanta riqueza de insectos acuáticos hay en los cuerpos de agua lénticos de la Biosfera maya se utilizaron curvas de acumulación de especies y estimadores de riqueza no paramétricos (Chao, 2005; Coldwell *et al.* 2005; Coldwell y Coddington, 1994). Se comparó entre los valores máximos de riqueza observada y estimada para representar el nivel de inventario (Escalante, 2003; Coldwell, 2005; Urbina-Cardona y Reynoso, 2005). Los estimadores para diversidad gamma fueron basados en la incidencia de especies (Presencia/Ausencia).

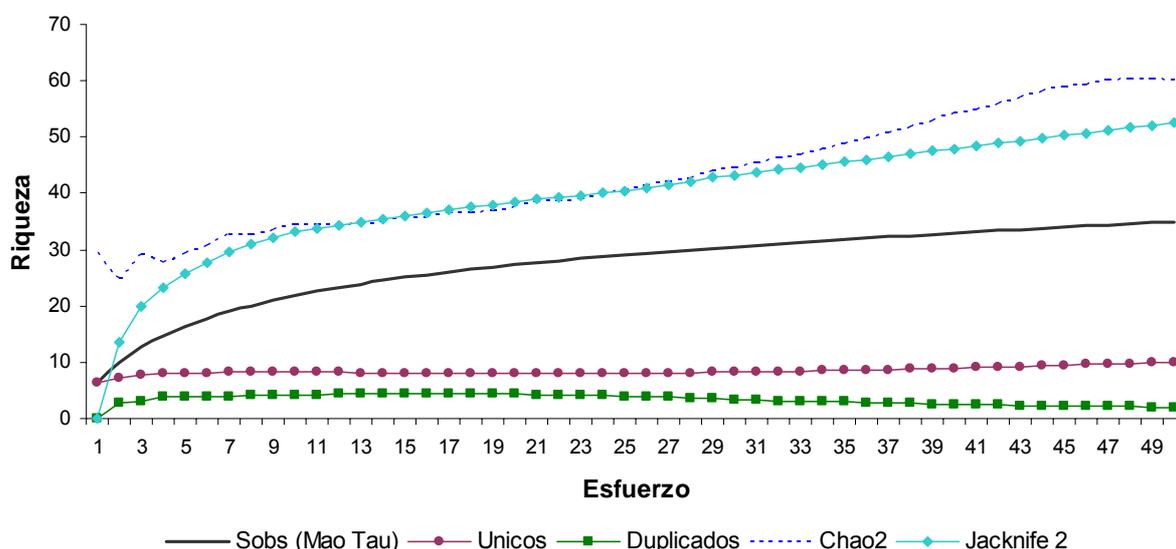


Figura 13. Curva de acumulación de Insectos Acuáticos en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya. Sobs (Especies Observadas).

Los resultados evidencian un bajo nivel de muestreo en el estudio, por lo que se requiere de un mayor esfuerzo (inversión de tiempo y económico) para completar totalmente el inventario (Coldwell y Coddington, 1994). En la figura 13 la curva de acumulación de insectos acuáticos refleja que el muestreo no está llegando a una asintota y se determinó que este estudio obtuvo un 58% (especies observadas) de la representatividad de la región, con un total de 35 taxas.

JackNife de segundo orden estima que se pueden encontrar un total de 53 (100%) taxones por lo que se esperaría encontrar una mayor riqueza. Para encontrar nuevas especies en estos cuerpos de agua requerirá un mayor esfuerzo.

Análisis Multivariado

Análisis de Componentes Principales - PCA -

En el análisis de componentes principales entre los sitios de estudio y los taxa registrados, se observa que el eje 1 de ordenación contiene el 15.3 % de la varianza y entre el 1 y 2 se explica el 27 de la varianza. En la tabla 5 se presentan los valores del PCA realizado.

Tabla 5. Análisis de Componentes Principales. Eigenvalores y Porcentaje de Varianza acumulada por cada eje de Ordenación. Se incluyeron 50 muestras y 35 taxa

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Varianza Total
Eigenvalor	0.153	0.120	0.083	0.065	1.000
% Acumulado de vacianza	15.3	27.3	35.6	42.1	
Suma de Eigenvalores					1.000

Fuente: Datos de Campo, 2009.

En el PCA (Figura 14) se observa que hay un escalonamiento a lo largo del componente principal 2. Los poblados se encuentran hasta abajo mientras que los potreros llegan hasta la mitad. Los sitios más diversos y variados son los bosques.

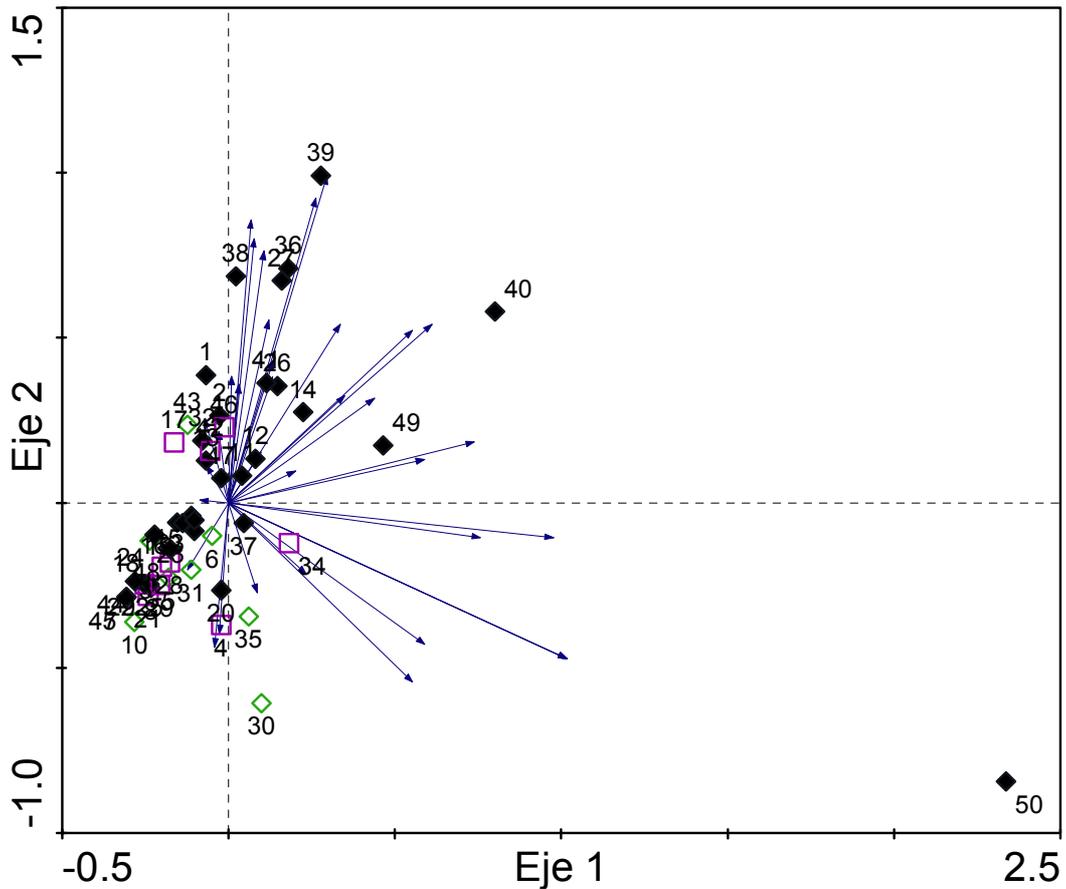


Figura 14. Análisis de Componentes Principales - PCA -. Ordenación de los sitios muestreados con relación a los insectos acuáticos. En el análisis se incluyeron 50 Muestras y 35 taxas. — Especies, ◆ Bosque, □ Potrero, ◇ Poblado

Análisis de Redundancia - RDA -

Por medio de un análisis de redundancia - RDA - se relacionó la distribución de los insectos acuáticos en cuerpos de agua estudiados y las variables fisicoquímicas que se registraron para cada sitio. Se observa que los dos primeros ejes de ordenación representan el 100% de la varianza del ensamble de insectos acuáticos con relación a los parámetros fisicoquímicos. En la tabla 6 se presentan los valores del RDA realizado.

Tabla 6. Análisis de Redundancia. Taxones de Insectos acuáticos y variables fisicoquímicas y ambientales. Se incluyeron 50 muestras y 35 taxa.

	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Varianza Total
Eigenvalor	0.037	0.026	0.142	0.100	1.000
Correlación Taxa – Ambiente	0.611	0.539	0.000	0.000	
% Varianza Acumulada					
Datos de Especie	3.7	6.2	20.5	30.4	
Relación Taxa – Ambiente	58.9	100.0	0.0	0.0	
Suma de Eigenvalores					1.000
Suma de Eigenvalores canónicos					0.062

Fuente: Datos de Campo, 2009.

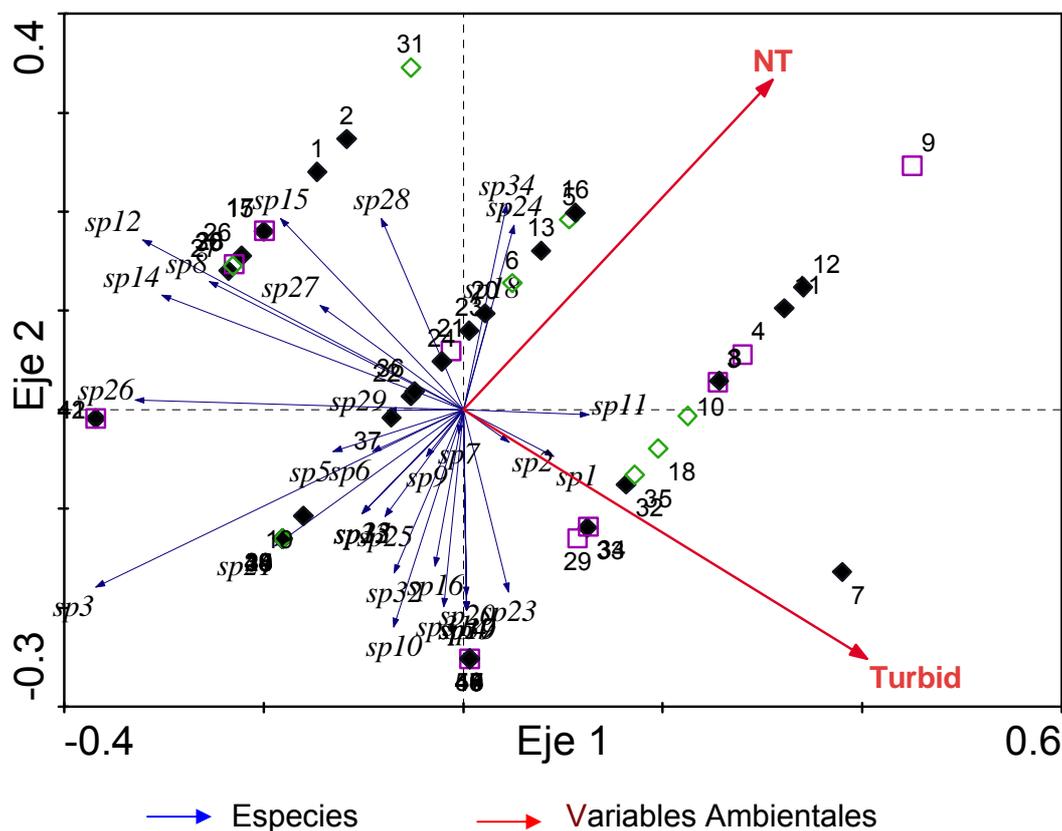


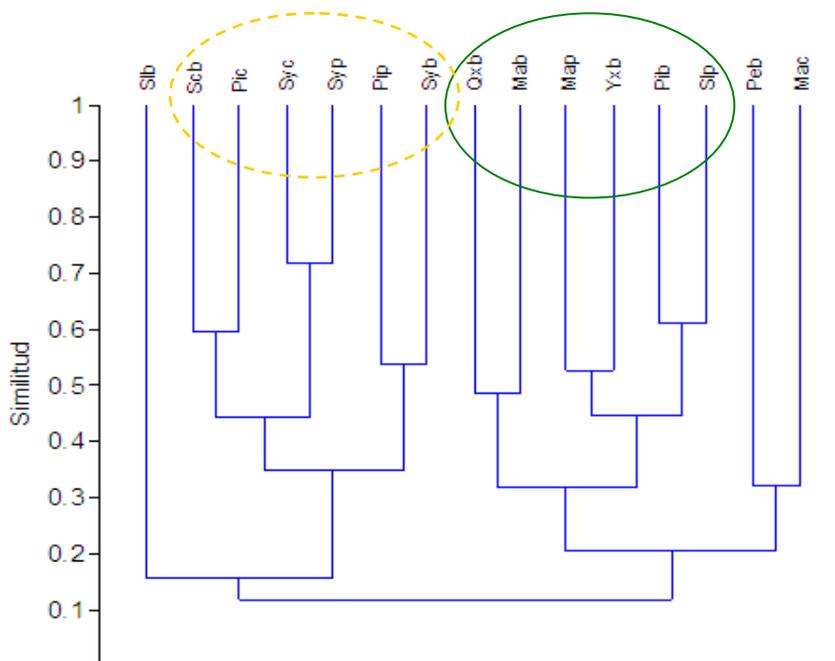
Figura 15. Análisis de Redundancia - RDA - Ordenación de los sitios muestreados con relación a los insectos acuáticos y variables ambientales. En el análisis se incluyeron 50 Muestras y 35 taxa. ◆ Bosque □ Potrero ◇ Poblado

El análisis de redundancia - RDA - (Figura 15) mostró un gradiente ambiental determinado por las características fisicoquímicas del agua y la relación con la distribución de los insectos acuáticos en los sitios de muestreo, reflejando que existe una relación significativa con los ejes de ordenación. Siendo la Turbidez ($p = 0.034$) y el Nitrógeno Total ($p = 0.076$) los más significativos. El resto de las variables ambientales tienen un $p > 0.1$. Esto se determinó a través de una Prueba de Montecarlo.

Análisis de Agrupamiento Jerárquico

Se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico en el cual se encontró que hay una diferenciación en la composición del ensamble de los insectos acuáticos entre los diferentes usos de tierra, bosque, poblados y potreros.

Figura 16. Análisis de Agrupamiento Jerárquico. Se incluyen todos los sitios muestreados durante junio y septiembre de 2009, en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya. Algoritmo de Grupos Pares. Índice de Morisita.



(Pi - Petén Itzá), (Ma - Macanché), (Sl - Salpetén), (Sc - Sacnab), (Yx - Yaxhá), (Pt - Petenchel),
(Qx - Quexil) y (Sy - Sacpuy). b (Bosque), p (Potrero) y c (Poblados).

DISCUSIÓN

Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya

Las lagunas y lagos de interés (Yaxhá, Sacnab, Petenchel, Quexil, Salpetén, Macanche, Sacpuy y Petén Itzá) se encuentran localizadas en las tierras bajas de Petén, su origen es Cárstico, por lo que tiene altos contenidos de bicarbonato de calcio y sulfato de calcio. Estas lagunas se alimentan principalmente de aguas subterráneas, desde el drenaje del Río San Pedro y no cuentan con desagües superficiales (Pape, 2002). Es importante tener en cuenta el origen y la ubicación de las lagunas para poder entender las características físicoquímicas de la región.

La calidad físicoquímica de los cuerpos lénticos de la Biosfera Maya se determinó por medio de la evaluación de los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Disueltos Totales y Nutrientes.

Los niveles de saturación de Oxígeno Disuelto en el agua superficial mostraron un nivel adecuado para la vida acuática (EPA, 1986; Roldán, 1992). La cantidad presente de oxígeno en un momento determinado depende de la interacción del oxígeno proveniente de la atmósfera y de los procesos fotosintéticos que en el agua se lleven a cabo. Se debe tener en cuenta el consumo de oxígeno en las reacciones producto de los procesos de biodegradación (Brezonik y Fox, 1974).

La temperatura se encuentra entre los límites aceptables y hay pocas variaciones, depende sobre todo de la radiación solar y de la temperatura del aire. Los valores promedio de pH se encontraron alrededor de 8.22 lo cual indica que el medio se encuentra alcalino (Anexo 4). Esto es una característica de la región, debido a que los suelos de Petén son cársticos y presentan grandes cantidades de carbonatos (Brezonik y Fox, 1974).

La conductividad se traduce como la concentración de sales disueltas en el medio y está estrechamente relacionada con la salinidad. La Conductividad en cuerpos de agua dulce debe ser menor de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roldán, 1992). Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores normales para aguas naturales de sistemas cársticos, además está asociado con las características geoquímicas de la cuenca (Brezonik y Fox, 1974; Peralta y Morero - Casasola, 2007).

Los sólidos disueltos totales es el producto de partículas que se encuentran en la columna de agua, sin embargo los valores fueron bajos. En algunos sitios donde la turbidez es alta y por consiguiente los TDS (Anexo 4), es debido a que hay una alta concentración de vegetación acuática en el sitio, vertido de aguas residuales, descomposición de materia orgánica o turbulencia que provoca la resuspensión de sedimentos, lo que incrementa la presencia de partículas en la columna de agua.

Los procesos de eutrofización en los lagos se ven acelerados principalmente por el incremento de la concentración de los nutrientes en el medio, así como el crecimiento exagerado de las poblaciones de algas que reducen los niveles de oxígeno y la transparencia en el agua, limitando las condiciones propicias para las especies acuáticas (Brezonik y Fox, 1974; Roldán, 1992; Wetzel 2005).

En este estudio las concentraciones de nutrientes en los cuerpos de agua fueron consideradamente bajas a excepción de los fosfatos. Los Fosfatos pueden indicar que han ocurrido eventos extraordinarios de contaminación, producto de la presencia de comunidades en sus cercanías, donde usualmente vierten aguas residuales y/o se ubican lavaderos comunales a orillas del lago, además del desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas. De continuar esta tendencia el agua de las lagunas y del lago, en pocos años se encontrará completamente en un estado eutrófico.

Para finalizar los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos reflejan que las condiciones que prevalecen en los cuerpos de agua estudiados son mesotrófico y que se mantienen espacialmente. Fueron pocos los parámetros que se encontraron por encima de los límites establecidos para aguas naturales de la Environmental Agency Protection -EPA-.

Caracterización de los Insectos Acuáticos en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya

El estudio de los macroinvertebrados bentónicos (insectos acuáticos) como organismos indicadores de calidad de agua, permite estimar si han sido afectados por cambios físicos o químicos de su hábitat, pero no indica directamente cual es la causa específica que los afecta, lo cual debe ser estimado mediante su asociación con información del hábitat físico y a potenciales fuentes de contaminación (Figueroa et al., 2003; Oscoz, et al., 2006).

En la región Maya son pocas las investigaciones que se han realizado con respecto a los insectos acuáticos. Los trabajos que se han desarrollado registraron un total de 44 morfoespecies que se encuentran asociadas a plantas acuáticas (Herrera et al., 2000; Solórzano, 2001), sin embargo este estudio trabajó con macroinvertebrados bentónicos, los cuales en su mayoría no fueron reportados en estudios anteriores.

Se registró un total de 38 taxa (Tabla 2) los cuales en su mayoría correspondieron a estados inmaduros de insectos. De los Insectos acuáticos colectados los grupos con mayor diversidad fueron los odonatos, coleópteros, tricópteros, efemerópteros y finalmente dípteros. La familia más abundante fue Chironomidae, seguido de Elmidae.

Entre los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema están las larvas acuáticas de los insectos pertenecientes a los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera y las larvas y adultos de los coleópteros acuáticos (Figueroa et al., 2003), sin embargo en este estudio no se colectó ningún espécimen perteneciente al orden Plecoptera, ya que son especies que se encuentran en ríos con zonas de alta corriente y piedras.

Las larvas y adultos de estos grupos taxonómicos han mostrado una alta sensibilidad a la contaminación y a la degradación de los ecosistemas acuáticos en varios estudios (García y González, 1986; Springer et al., 2007). No obstante, existen otros grupos que muestran una alta resistencia a las perturbaciones y alteraciones del ambiente, como algunas especies de oligoquetos, dípteros y moluscos (Figueroa et al., 2003; Guerrero - Bolaño et al., 2003; Springer et al., 2007).

La alta diversidad taxonómica hace de la comunidad de macroinvertebrados una buena indicadora de la calidad ecológica de los cuerpos de agua, ya que ofrece un amplio espectro de respuestas a las diferentes perturbaciones ambientales, por lo que se podría considerar que en general los taxa encontrados son indicadores de aguas de calidad regular y con contaminación moderada (Figueroa et al., 2003; Springer et al., 2007).

En este estudio la riqueza específica tendió a decrecer en los sitios asociados a potreros y poblados (Tabla 4) (Figura 9), siendo los taxa reconocidamente tolerantes o muy tolerantes los más abundantes, tales como lo Díptera, Hyrudinea y Oligochaeta, estos taxa son capaces de habitar por extensos períodos en aguas con concentraciones muy bajas de oxígeno (Figueroa et al., 2003; Guerrero - Bolaño et al., 2003). Asimismo se encontraron presentes en los sitios asociados a bosques, no obstante, sólo en los sitios perturbados la abundancia es mayor, ya que son favorecidos por la elevada disponibilidad de detritus orgánico que forma parte de su dieta (Figueroa et al., 2003).

La variación de la diversidad puede estar de igual forma relacionado con el tipo de sustrato y a las variaciones físico – químicas en los sitios de muestreo, por lo general en los sitios asociados a bosque la calidad de agua puede ser mejor y hay mayor cantidad de hojarasca y piedra, incrementando así la riqueza de la comunidad de los insectos acuáticos bentónicos. En comparación a los sitios asociados a potreros y poblados, donde el sustrato se caracteriza por presentar mayor cantidad de limo y materia en descomposición esto resultado de la alteración del microhábitat, disminuyendo así el porcentaje de oxígeno disuelto disponible para los organismos y por consiguiente la composición del los ensambles de insectos acuáticos en los sitios de muestreo (Guerrero - Bolaño et al., 2003; Oler y Goitia, 2005).

Lo anterior también se observó el segundo muestreo, ya que se registró mayor abundancia y riqueza de los individuos y familias (Tabla 4), esto debido a que las muestras fueron colectadas en un sustrato de hojarasca. Las colectas del primer muestreo se realizaron en un sustrato de limo y arcilla con poca o casi nada de hojarasca. Estos resultados se esperaban, ya que los sustratos con hojarasca o piedra ofrecen una mayor estabilidad y disponibilidad de microhábitats y alimento, además, se caracterizan por presentar una mayor diversidad de fauna, por lo que es común encontrar gran variedad de efemerópteros, coleópteros y tricópteros (Guerrero - Bolaño et al., 2003).

En cuanto a la riqueza total se observó en la curva de acumulación de especies (Figura 13) que falta un mayor esfuerzo de colecta para tener una muestra representativa de toda la comunidad de insectos acuáticos bentónicos de los cuerpos de agua Lénticos de la Biosfera Maya.

Con respecto a la variación espacial, los resultados obtenidos del PCA, RDA y del análisis de agrupamiento, muestran que hay una relación entre el uso de la tierra y la distribución de los insectos acuáticos, ya que segrega algunos sitios asociados a bosque por un lado y por otro a los sitios asociados a los potreros y poblados (Figura 14, 15 y 16). Esta segregación entre las diferentes lagunas en base al uso del suelo se debe a las diferencias y abundancias que presentan cada uno de los sitios. Pues los potreros y poblados no presentan una alta diversidad por lo que pueden reflejar que el sistema acuático ha sufrido un decremento significativo como resultado del cambio del uso de la tierra.

Para finalizar se hace la observación que aun cuando hay un cambio en el uso del suelo, la calidad física del hábitat de los cuerpos de agua lénticos estudiados, se encuentra en buenas condiciones, ya que en sitios donde hay una leve o moderada degradación de la calidad del hábitat acuático, se encontraron algunos organismos de algunas familias que son clasificadas como sensibles a alteraciones ambientales (Ephemeroptera y Trichoptera) (Figuroa et al., 2003; Merritt y Cummins, 1996; Segnini, 2003)

CONCLUSIONES

- ⤴ Las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en los cuerpos lénticos de la Biosfera Maya se caracterizan como estado mesotrófico – oligotrófico, pues se encuentran entre los límites permisibles para aguas naturales.
- ⤴ Los sitios asociados a potreros y poblados sobre todo en el Lago Petén Itzá, Macanché, Sacpuy y Salpetén, debido a sus características fisicoquímicas y a sus altas densidades poblacionales presentaron mayor contaminación.
- ⤴ La estructura y abundancia de la comunidad de insectos acuáticos está influida por algunos factores ambientales tales como la degradación de la calidad de los hábitat acuáticos y la remoción de los bosques riparios.
- ⤴ La dominancia de ciertos taxones como Chironomidae, Elmidae, Hyrudinea y Oligochaeta en los sitios de muestreo pueden ser indicativos de la existencia de alteraciones y perturbaciones ambientales en ellos.
- ⤴ Los resultados obtenidos en el presente estudio, sugieren que los insectos acuáticos bentónicos son buenos indicadores de la calidad de aguas en los cuerpos lénticos de la Biosfera Maya.
- ⤴ Los Cuerpos de agua, así como los bosques ribereños, pueden actuar como reservorios de la diversidad biológica y así mantener la salud de los ecosistemas acuáticos, es por eso la importancia de consérvalos.

RECOMENDACIONES

- ▲ Establecer un programa de monitoreo permanente de la calidad del agua en los cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, para determinar el grado de eutrofización de los cuerpos de agua y la tasa a la que esta se esta dando, para evitar catástrofes como las que sufren actualmente otros cuerpos de agua del país.
- ▲ En lugares como el Lago Petén Itzá, Macanché, Salpetén y Sacpuy se recomienda implementar un manejo integral, interdisciplinario y sostenible para el manejo del ecosistema acuático. Y en lagunas con baja perturbación como Quexil, Petenchel, Yaxhá, Sacnab, se mantengan las condiciones ambientales de la mejor forma para mantener la integridad del sistema.
- ▲ Se recomienda que el uso de insectos acuáticos bentónicos como indicadores de la calidad de agua en otras cuencas se realice con precaución, debido a que pueden existir otros factores que pudieran estar afectando a las comunidades acuáticas.
- ▲ Se deben realizar más estudios de las poblaciones bénticas en cuerpos de agua lénticos de la región y en general en el país, con la finalidad de determinar con mayor certeza las poblaciones de macroinvertebrados que tienen el mayor potencial de bioindicación.
- ▲ Se sugiere complementar el estudio de los insectos acuáticos con adecuadas caracterizaciones de la columna de agua, ictiofauna, macrofitas y de las actividades desarrolladas en las cuencas.
- ▲ Así mismo se deben realizar estudios sobre la relación entre la estructura de las comunidades y las variaciones climáticas en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. **APHA, AWWAA, WPCF.** (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.
2. **Alba-Tercedor, J.** 1996. *Macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua de los ríos.* VI Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) Vol. II 203-213. España
3. **Bastarrechea, M.** 1988. *Limnología del Lago Petén Itzá, Guatemala.* Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. Revista Biología Tropical 36 (1). Pág. 123 – 127.
4. **Barrenetchea, C.;** Pérez, A.; Gonzáles, M.; Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2003 *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química.* Thomson Editores Spain. España. Pág. 31 – 293.
5. **Brezonik, P. y Fox, J.** 1974. *The Limnology of Selected Guatemalan Lakes.* Hydrobiología. Vol. 45, 4. Pag. 467 - 487.
6. **Carter, J.L., Resh, V.H., Hannaford, M.J., Myers and M.J.** 2007. *Macroinvertebrates As Biotic Indicators Of Environmental Quality.* In Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. eds. *Methods In Stream Biology.* 2a ed. Academic Press, California, USA. p 805-831.
7. **Chao, A.** 2005. *Species richness estimation,* Pages 7909-7916 in N. Balakrishnan, C. B. Read, and B. Vidakovic, eds. *Encyclopedia of Statistical Sciences.* New York, Wiley.

8. **Colwell**, R. K. 2005. *EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
9. **Colwell**, R. K., & J. A. Coddington. 1994. *Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation*. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* 345, 101-118.
10. **CONAMA** (1989). Acuerdo Gubernativo 60-89. *Reglamento de Requisitos Mínimos y sus Límites Máximos Permisibles para la descarga de agua servidas*. Guatemala.
11. **Dix**, M. y Hernández, J. 2001. *Inventario Nacional de los Humedales de Guatemala*. San José, Costa Rica: UICN – Mesoamérica. CONAP. USAC. Pág. 176.
12. **EPA**. 1986. Environmental Protection Agency. *Gold Book of Quality Criteria for Water*. EPA 440/5-86-001. USA. Pág. 477.
13. **Figueroa**, R; Araya, E; Parra, O y Valdovinos, C. 1996. *Macroinvertebrados Bentónicos como Indicadores de Calidad de Agua*. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE
14. **Figueroa**, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O. 2003. *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile*. *Revista Chilena de Historia Natural*. No. 76. Pp. 275 – 285.
15. **García**, P. 2008. *Análisis de la Distribución de Macroinvertebrados Acuáticos a escala detallada en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Tesis de Graduación a optar el Título de Licenciatura en la carrera de Biología. Facultad de Ciencias químicas y Farmacia. Escuela de Biología.

16. **García, P.**, Van Tuylen, S., Reyes, E., Montenegro, C. y Bracamonte, M. F. 2009. *Evaluación de los Efectos del Cambio del Uso de la Tierra sobre la Calidad del Agua y los patrones de Diversidad de Macroinvertebrados bentónicos en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. INAB. Proyecto No. 72-2007 de la línea del Fondo Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología - FODECYT -.

17. **García de Jalón, D.**, y González del Tánago, M. 1986. *Métodos biológicos para el estudio de la calidad de las aguas. Aplicación a la Cuenca del Duero*. Monografía 45, ICONA (Spain).

18. **Guerrero - Bolaño, F.**, Manjarrés - Hernández, A. y Nuñez - Padilla, N. 2003. *Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del Agua*. Acta Biológica Colombiana. Vol. 8 No. 2. Pp. 43 - 55.

19. **Gullan, P.J.** and Cranston, P.S. 2005. *The Insects: An Outline of Entomology*. 3a ed. Blackwell Publishing. USA. XVIII + 511pp.

20. **Hauer, F.R.** & Hill, W.R. 2007. *Temperature, Light, and Oxygen*. In Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. eds. *Methods In Stream Biology*. 2a ed. Academic Press, California, USA. Pp. 103-118.

21. **Herrera, K.**, Bailey, A., Callisto, M. y Ordoñez, J. 2000. *The Aquatic Habitats of Laguna del Tigre National Park, Peten, Guatemala: Water Quality, Phytoplankton Populations, and Insects Associated with the Plant Salvinia Auriculata*. Chapter 2. A Biological Assessment of Laguna del Tigre National Park, Petén, Guatemala. RAP Bulletin of Biological Assessment 16. Conservation International, Washington. DC. Pp. 26 - 34.

22. **Hodell, D.** Anselmetti, F. Ariztegui, D. Benner, M. Curtis, J. Haug, H. Hall, J. McKenzie. 2004. *Lake Petén Itzá (Guatemala) Drilling Proposal*. USA: ICDP.

23. **Leiva, M.** 2003. *Macroinvertebrados bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX región de la Araucania*. Tesis presentada a la Facultad de Ciencias de la universidad Católica de Temuco.
24. **Legendre, P y Legendre L.** 1998. *Numerical Ecology*. 2ª Editions. Elsevier Science B.V. Netherlands. 853 p.
25. **Magurran, A.** 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. Printes United Kingdom. 256 p.
26. **Mandaville, S.** 2002. *Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols. (Project H-1) Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax* Email: limnes@chebucto.ns.ca Master Homepage: <http://chebucto.ca/Science/SWCS/SWCS.html>
27. **Margalef, R.** 1983 *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona.
28. **Merritt, R y Cummins, K.** 1996. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 3ª Ed. Kendall/Hunt Publishinsg Company. Printed USA.
29. **Oliva, B.** 2005. *Contaminación en el Lago Petén Itzá*. Proyecto No. 20-2002 de la línea del Fondo Nacional para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología - FODECYT -. Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Pág. 115.
30. **Oller, C. y Goitia, E.** 2005. *Macroinvertebrados bentónicos y metales pesados en el Río Pilcomayo (Tarija, Bolivia)*. Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental. No. 18. Pp. 17 - 32.
31. **OMS.** (1995). *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. 195pp.

32. **Oscoz, J.**, Campos, F. y Escala, M. 2006. *Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas*. Limnetica. No. 25 (3). Asociación Española de Limnología, Madrid, España. Pp. 683 – 692.
33. **Pape, E.** 2002. *Valor Económico del Lago Petén Itzá: Problemas y oportunidades*. FLACSO. Editorial de Ciencias Sociales, S. A. Guatemala. Pág. 160.
34. **Reyes, F.** 2007. *Evaluación de la Contaminación del Pez Blanco (Petenia splendida) en Tejido Muscular y su Relación con los Niveles de Calidad de Agua del Lago Petén Itzá, Flores, Petén, Guatemala*. Tesis de Graduación a optar el Título de Licenciatura en la carrera de Biología. Facultad de Ciencias químicas y Farmacia. Escuela de Biología.
35. **Riss, W ; Ospina, R y Gutiérrez, J.** 2002. *Establecimiento de valores de Bioindicación para macroinvertebrados acuáticos en la Sana de Bogotá*. Caldasia 24(1) : 135-156
36. **Roldán, G.** 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
37. **Rosenberg, D.M., Davies, I.J., Cobb, D.G., and Wiens, A.P.** 1997. *Ecological Monitoring and Assessment Network (EMAN) Protocols for Measuring Biodiversity: Benthic Macroinvertebrates in Fresh Waters*. Dept. of Fisheries & Oceans, Freshwater Institute, Winnipeg, Manitoba. 53, Appendices. (<http://www.cciw.ca/eman-temp/research/protocols/freshwater/benthic>)
38. **Segnini, S.** 2003. *El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente*. Ecotropicos No. 16. Vol. (2), Sociedad Venezolana de Ecología. Pp. 45 – 63.

39. **Solórzano**, E. 2001. *Evaluación de la calidad de agua en el PNLT, mediante un análisis de correlación entre los valores de 16 parámetros fisicoquímicos y la estimación poblacional de especies acuáticas de los órdenes Diptera y Hemiptera (Clase Insecta), durante la época seca del 2000.*
40. **Sponsseller**, R.A., Benfield, E.F. and Vallet, H.M. 2001. *Relationships between Land Use, Spatial Scale And Stream Macroinvertebrate Communities.* *Freshwater Biology* 46:1409-1424.
41. **Springer**, M., D. Vásquez, A. Castro & B. Kohlmann. 2007. *Bioindicadores de la calidad del agua.* EARTH, UCR. Guía ilustrada de campo, 6 pp.
42. **Steinman**, A.D. & Mulholland, P.J. 2007. *Phosphorus Limitation, Uptake, And Turnover In Benthic Stream Algae.* In Hauer, F.R. and Lamberti, G.A. eds. *Methods In Stream Biology.* 2a ed. Academic Press, California, USA. p 187-214.
43. **Van Tuylen**, S., García P y González B. 2006. *Evaluación de un método alternativo para medir la calidad del agua con indicadores biológicos y fisicoquímicos en el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz.* Primera Fase. Informe UICN - Lachuá, PIMEL.
44. **Wetzel**, R. 2005. *Limnology.* W. B. Saunders Company. USA. Pág. 743.

ANEXOS

Anexo 1. Presencia - ausencia de los taxa registrados en los sitios de muestreo y Tratamientos evaluados.

Taxa	Sitios de Muestreo								Tratamiento		
	Pi	Sy	Qx	Pe	Ma	Sl	Yx	Sc	B	P	C
<i>Acanthagrion sp.</i>	*	*		*				*	*	*	*
<i>Archaeogomphus sp.</i>		*	*						*		
<i>Argia sp.</i>	*		*	*	*	*		*	*	*	*
<i>Atrichopogon sp.</i>								*	*		
<i>Bezzia sp.</i>	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Caenis sp.</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Callibaetis sp.</i>	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
Chironomidae sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Choropteres sp.</i>		*		*	*				*		
<i>Enallagma sp.</i>					*			*	*		
<i>Erythemis sp.</i>		*									*
<i>Farrodes sp.</i>	*		*	*	*				*		
<i>Helichus sp.</i>					*				*		
<i>Heterelmis sp.</i>	*			*	*				*		*
<i>Hexacylloepus sp.</i>	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*
<i>Leptobasis sp.</i>	*	*		*				*	*	*	*
<i>Lethocerus sp.</i>								*	*		
<i>Mayatrichia sp.</i>	*	*		*	*		*		*	*	*
<i>Microcyllloepus sp.</i>								*	*		
<i>Nehalania sp.</i>			*	*	*	*		*	*		
<i>Neoneura sp.</i>	*		*	*	*	*	*		*	*	
<i>Neotrichia sp.</i>				*					*		
<i>Oecetis sp.</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Oxyethira sp.</i>	*									*	*
<i>Perithemis sp.</i>		*	*	*	*	*	*		*	*	*
<i>Polycentropus sp.</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Probezzia sp.</i>	*	*			*	*	*	*	*	*	*
<i>Progomphus sp.</i>	*								*		
<i>Protoneura sp.</i>				*	*		*		*	*	
<i>Rheumatobates sp.</i>								*	*		
<i>Rhyacopsyche sp.</i>	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Scirtes sp.</i>	*							*	*		
<i>Stenus</i>				*					*		
<i>Telebasis sp.</i>	*	*				*			*		*
<i>Thraulodes sp.</i>				*					*		
TOTALES	20	16	14	21	19	11	11	19	35	17	18

(Pi - Petén Itzá), (Sy - Sacpuy), (Qx - Quexil), (Pt - Petenchel), (Ma - Macanché), (Sl - Salpetén),
(Yx - Yaxhá), (Sc - Sacnab). B (Bosque), P (Potrero) y C (Poblado)

Anexo 2. Características Físicoquímicas en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomadas de junio a septiembre del 2009. Primer Muestreo

Localidad		OD mg/L	OD %	pH	T °C	Conc uS/cm	Sal %	TDS mg/L	NO ₂ mg/L	NO ₃ mg/L	NH ₄ mg/L	N Total mg/L	PO ₄ mg/L	P Total mg/L	SO ₄ mg/L
Lago Petén Itzá	B1	7.5	102.7	8.2	31.3	111	0.0	110	0.005	0.291	0.280	0.367	0.022	0.035	14.3
	B2	7.3	98.2	8.3	30.1	113	0.0	112	0.005	0.091	0.097	0.416	0.019	0.035	13.8
	P1	7.6	105.9	8.4	32.8	110	0.0	109	0.022	0.058	0.091	0.412	0.022	0.037	15.9
	P2	7.6	106.7	8.3	31.6	112	0.0	111	0.005	0.131	0.044	0.453	0.019	0.039	16.7
	C1	8.6	120.2	8.0	32.2	113	0.0	112	0.007	0.069	0.093	0.475	0.023	0.042	14.3
	C2	7.6	102.6	8.3	30.6	114	0.0	113	0.004		0.058	0.380	0.018	0.035	13.9
Sacpuy	B1	7.2	95.6	8.3	30.3	67	0.0	66	0.008	0.040	0.123	0.308	0.025	0.046	24.9
	B2	6.4	87.9	8.2	31.3	68	0.0	67	0.006	0.024	0.161	0.414	0.023	0.040	8.5
	P1	7.4	98.1	7.2	30.6	68	0.0	67	0.008	0.012	0.180	0.734	0.023	0.042	8.2
	C1	6.0	83.1	7.8	31.9	68	0.0	67	0.008	0.044	0.282	0.362	0.027	0.054	20.4
Macanché	B1	6.4	86.3	8.8	30.4	229	0.2			0.141	0.183	0.278	0.058	0.030	
	B2	6.4	86.3	8.8	30.4		0.2		0.001	0.003	0.165	0.485	0.059	0.030	
	P1	7.0	96.0	8.8	30.2	230	0.2		0.030	0.092	0.157	0.279	0.016	0.029	339.3
	C1	6.9	96.0	8.3	31.3	831	0.2		0.003	0.066	0.175	0.313	0.055	0.034	
Salpetén	B1	7.4	100.6	8.6	32.1	443	2.4		0.039	0.035	0.049	0.034	0.182	0.378	3832.3
	B2	6.9	100.0	8.6	34.8	443	2.3		0.022	0.143	0.108	0.335	0.173	0.034	3026.4
	P1	8.8	127.0	8.6	34.6	430	2.3		0.015	0.112	0.170	0.279	0.131	0.030	3492.1
Petenchel	B1	7.7	107.8	8.5	31.1	411	0.0	1100	0.025	0.062	0.437	0.429	0.021	0.034	69.7
	B2	8.5	46.0	8.2	32.7	407	0.0	1085	0.024	0.064			0.016	0.039	80.3
Quexil	B1	7.6	105.5	8.4	32.3	629	0.1	623	0.013	0.044	0.151	0.522	0.022	0.037	34.2
	B2	7.6	105.0	8.4	32.8	630	0.1	624	0.012	0.028	0.108	0.553	0.022	0.034	13.4
Sacnab	B1	6.8	91.4	8.4	30.0	344	0.0	880	0.028	0.026	0.135	0.264	0.146	0.039	12.8
	B2	7.1	97.5	8.4		338	0.0	861	0.029	0.080	0.091		0.159	0.038	13.5
Yaxhá	B1	9.0	124.0	7.0	30.8	290	0.0	776	0.015	0.080	0.152	0.212	0.135	0.041	14.8
	B2	8.8	126.0	8.3	32.4	320	0.0	786	0.014	0.036	0.134	0.310	0.128	0.037	11.6

OD (Oxígeno Disuelto), pH (Potencial de Hidrógeno), T (Temperatura), Cond (Conductividad), Sal (Salinidad),

TDS (Sólidos Disueltos Totales), NO² (Nitritos), NO³ (Nitratos), NH⁴ (Amonio), N Total (Nitrógeno Total),

PO₄ (Ortofosfato), P Total (Fósforo Total), SO₄ (Sulfatos),

Anexo 2. Características Físicoquímicas en Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya, tomadas de junio a septiembre del 2009. Segundo Muestreo

Localidad		OD mg/L	OD %	pH	T °C	Conc uS/cm	Sal %	TDS mg/L	NO ₂ mg/L	NO ₃ mg/L	NH ₄ mg/L	N Total mg/L	PO ₄ mg/L	P Total mg/L	SO ₄ mg/L
Lago Petén Itzá	B1				30.3	716	0.3		0.001	0.052	0.012	0.242	0.011	0.076	77.9
	B2				30.2	719	0.3	350	0.003	0.056	0.064	0.220	0.011	0.058	86.9
	P1	14.8	100.8	10.7	29.9	548	0.3	257	0.005	0.052	0.024	0.230	0.013	0.057	94.4
	P2			10.2	31.0	714	0.3	354	0.005	0.047	0.044	0.179	0.018	0.067	83.4
	C1				31.2	716	0.3	608	0.001	0.068	0.076	0.227	0.012	0.074	80.6
	C2				30.4		0.3	350	0.004	0.052	0.144	0.523	0.011	0.067	85.5
Sacpuy	B1			9.5	31.0		0.0	76	0.026	0.018	0.050	0.260	0.025	0.063	26.0
	B2			9.7	32.3	209	0.1	67	0.027	0.017	0.069	0.195	0.026	0.047	24.2
	P1				32.6	208	0.1	139	0.031	0.013	0.148	0.197	0.023	0.063	24.7
	C1	14.6	115.5	10.4	31.1	207	0.1	99	0.008	0.008	0.060	0.274	0.027	0.079	14.4
Macanché	B1	7.5	101.2	9.0	30.5	834	0.4	417	0.005	0.095			0.012	0.008	388.3
	B2	7.9	107.7	9.0	30.8	835	4.0	417	0.006	0.071			0.013	0.021	307.8
	P1	8.1	114.1	9.5	30.4	826	0.4	415	0.006	0.052			0.014	0.028	279.7
	C1	7.2	98.2	9.2	30.0	826	0.4	413	0.007	0.087			0.013	0.020	296.9
Salpetén	B1	7.8	108.0	9.5	30.5	4338	2.3	2171	0.029	0.092			0.030	0.026	4115.9
	B2	7.3	103.0	8.4	31.4	4366	2.3	2183	0.034				0.034	0.126	3789.3
	P1	7.0	96.2	8.8	30.4	4331	2.3	2166	0.029	0.077			0.030	0.024	3764.6
Petenchel	B1	6.5		8.8	33.9	335	0.1	168	0.041	0.026			0.017	0.032	66.6
	B2	6.9	94.5	8.9	32.1	338	0.2	169	0.017	0.025			0.017	0.033	80.3
Quexil	B1	14.8	91.5	8.7	30.5	95	0.0	449	0.011	0.015	0.042	0.219	0.010	0.053	8.8
	B2	14.6	88.9	8.9	30.5	101	0.0	54	0.011	0.015	0.018	0.180	0.009	0.055	8.5
Sacnab	B1	7.4	102.2	8.5	30.5	302	0.1	151	0.029	0.036			0.027	0.039	19.1
	B2	8.0	109.7	8.8	31.8	304	0.1	152	0.025				0.024	0.038	18.1
Yaxhá	B1	7.5	100.7	8.7	29.6	262	0.1	131	0.029				0.030	0.046	30.4
	B2	6.2	82.7	8.6	30.8	262	0.1	131	0.030				0.031	0.042	15.6

OD (Oxígeno Disuelto), pH (Potencial de Hidrógeno), T (Temperatura), Cond (Conductividad), Sal (Salinidad),

TDS (Sólidos Disueltos Totales), NO² (Nitritos), NO³ (Nitratos), NH⁴ (Amonio), N Total (Nitrógeno Total),

PO₄ (Ortofosfato), P Total (Fósforo Total), SO₄ (Sulfatos),

Anexo 3. Registro fotográfico de los Macroinvertebrados Acuáticos colectados en los Cuerpos Lénticos de la Biosfera Maya

Coleóptera

Heterelmis sp.



Hexacylloepus sp.



Diptera

Bezzia sp.



Ceratopogonidae (Pupa)



Ephemeroptera

Caenis sp.



Farrodes sp.



F. Reyes, 2009

Trichoptera

Oecetis sp.



F. Reyes, 2009



Oxyethira sp.



Polycentropus sp.



Anexo 4. Boletas para el levantamiento de datos en el Campo.

DATOS GENERALES

Nombre Sitio _____ Localidad _____
 Tratamiento _____ Parcela _____
 Fecha ____/____/____ Hora ____am pm Institución _____
 Colectores _____
 Coordenadas N _____ W _____ Altitud _____
 Proyecto _____ Área de muestreo _____

CALIDAD DE AGUA

T° _____ Agua _____ Ambi. _____ Hum/Rel _____ % pH _____ Cond. _____ μS/cm
 O₂ _____ mg/L _____ % TDS _____ mg/L Sal. _____ % Profundidad _____

Water Odors
 Normal/None Sewage Petroleum Chemical Fishy Other _____

Water Surface Oils
 None Slick Globs Flecks Sheen Other _____

Turbidity
 Clear Slightly Turbid Opaque Stained Other _____

WATERSHED FEATURES

SEDIMENT/SUSTRATE

Predominant Surrounding Land use	Local Watershed Pollution	Odor	Deposit
<input type="checkbox"/> Forest <input type="checkbox"/> Commercial	<input type="checkbox"/> No evidence	<input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Sewage <input type="checkbox"/> Petroleum	<input type="checkbox"/> Sludge
<input type="checkbox"/> Pasture <input type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Some potential sources	<input type="checkbox"/> Chemical <input type="checkbox"/> Anaerobic <input type="checkbox"/> None	<input type="checkbox"/> Relict Shells
<input type="checkbox"/> Agricultural <input type="checkbox"/> Other	<input type="checkbox"/> Obvious sources	Oils	<input type="checkbox"/> Sand
<input type="checkbox"/> Residential		<input type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Slight <input type="checkbox"/> Moderate <input type="checkbox"/> Profuse	<input type="checkbox"/> Other _____

RIPARIAN VEGETATION

Trees Shrubs Grasses Herbaceous Dominant species Present _____

AQUATIC VEGETATION

Rooted emergent Rooted floating Free floating Floating algae Attached algae
 Dominant species present _____