

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**Dirección General de Investigación**

**INFORME FINAL**

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

**“Los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal –Yaxhá:  
Importancia de la Vegetación Acuática Asociada,  
Calidad de Agua y Conservación”**

**INTEGRANTES DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN**

Licda. Elsa María de Fátima Reyes Morales	Coordinadora
Lic. Julio Enrique Morales Can	Investigador
Licda. Bessie Evelyn Oliva Hernández	Investigadora asociada
Br. Celia Vanessa Dávila Pérez	Auxiliar de Investigación II

Guatemala, Diciembre de 2009.

**INSTITUCIONES PARTICIPANTES Y CO-FINANCIANTES**

Herbario USCG - Centro de Estudios Conservacionistas - CECON -  
Laboratorio de Investigaciones Químicas y Ambientales - LIQA -  
Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas - IIQB -

## INDICE GENERAL

1. RESUMEN .....	5
2. ANTECEDENTES .....	6
2.1 Las plantas acuáticas y funciones naturales .....	6
2.2 Importancia de las Plantas Acuáticas .....	7
2.3 Formas de Vida de las plantas Acuáticas .....	8
2.4 Plantas acuáticas como indicadores.....	9
2.5 Factores que determinan el crecimiento de las plantas acuáticas.....	10
2.6 Diversidad Florística de los Cuerpos de Agua .....	11
2.7 Calidad del agua de los sistemas hídricos.....	12
2.8 Características del sitio de Estudio.....	13
2.9 Parametros Fisicoquímicos .....	15
2.10 Estudios anteriores .....	16
3. JUSTIFICACIÓN .....	17
4. OBJETIVOS .....	18
4.1 Objetivo General.....	18
4.2 Objetivos Específicos .....	18
5. MÉTODOLOGIA.....	19
5.1 Selección de Sitio y Muestreo .....	19
5.1.1 Caracterización Botánica .....	20
5.1.2 Caracterización Fisicoquímica .....	21
5.1.3 Evaluación de hábitat.....	22
5.2 Análisis de Datos .....	23
6. RESULTADOS .....	24
6.1 Caracterización Fisicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá. ....	24
6.2 Caracterización de la Vegetación de los Cuerpos de Agua la Región Maya Tikal –Yaxhá .....	30
6.3 Curvas de acumulación de especies .....	33
6.4 Riqueza y Diversidad por Sitio.....	35
6.4.1 Diversidad alfa ( $\alpha$ ).....	35
6.4.1 Diversidad beta ( $\beta$ ).....	35

6.5 Análisis Multivariado .....	37
6.5.1 Análisis de Correspondencia Canónica - CCA - .....	37
6.5.2 Análisis de Agrupamiento Jerárquico .....	40
6.6 Caracterización del hábitat .....	43
7. DISCUSIÓN .....	47
7.1 Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá. ....	47
7.2 Caracterización de la Vegetación de los Cuerpos de Agua la Región Maya Tikal –Yaxhá .....	48
7.3 Caracterización del hábitat .....	51
8. CONCLUSIONES .....	54
9. RECOMENDACIONES .....	55
10. BIBLIOGRAFÍA .....	56
11. ANEXOS .....	59
11.1. Listado General de Especies del hábitat Acuático y Ripario de los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá .....	59
11.2. Presencia - ausencia de las especies registradas en los sitios de muestreo.....	63
11.3. Fotografías de cada tratamiento evaluado en cada cuerpo de agua de la Región Maya Tikal –Yaxhá. ....	67
11.4. Registro fotográfico de vegetación acuática de los Cuerpos de agua de la Región Maya Tikal –Yaxhá. ....	68
11.5. Boletas para el levantamiento de datos en el Campo.....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización Geográfica de los Sitios de colecta en la Región Maya Tikal – Yaxhá.....	20
Figura 2. Rangos de Oxígeno Disuelto en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá .....	24
Figura 3. Rangos de Potencial de Hidrógeno (pH) en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá .....	25
Figura 4. Rangos de Temperatura en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá .....	26
Figura 5. Valores de Nitrógeno Total en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá .....	27
Figura 6. Valores de Fósforo Total en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá .....	27
Figura 7. Principales especies de plantas acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	30
Figura 8. Porcentaje de aparición de las especies encontradas en el total de unidades muestreadas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	31
Figura 9. Familias más importantes de plantas acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	32
Figura 10. Curva de acumulación de Plantas Acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	33
Figura 11. Curva de Acumulación de Plantas Ribereñas en los Cuerpos de Agua de la región Tikal-Yaxhá.....	34
Figura 12. Análisis de Correspondencia Canónica - CCA -. Ordenación de los sitios muestreados con relación a las plantas acuáticas y variables fisicoquímicas y ambientales .....	38
Figura 13. Efecto de la variable Uso de la Tierra sobre los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.....	39

Figura 14. Análisis de Agrupamiento para hábitat acuático, corte a 75% de similitud.....	40
Figura 15. Análisis de Agrupamiento para hábitat acuático, corte a 87.5% de similitud.....	41
Figura 16. Análisis de Agrupamiento Jerárquico.....	42
Figura 17. Proporción de las unidades muestrales que presentan los diferentes estratos de un bosque tropical influenciados por el uso de la tierra.....	43

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Numero de Parcelas, Transectos y Tratamientos por cada sitio de Muestreo.....	19
Tabla 2. Características Físicoquímicas de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomadas de junio a septiembre del 2009.....	28
Tabla 3. Riqueza Alfa por Tratamiento.....	35
Tabla 4. Valores de la Complementariedad o Similitud (Riqueza $\beta$ ).....	36
Tabla 5. Análisis de Correspondencia Canónica. Especies de vegetación acuática y variables físicoquímicas y ambientales.....	37
Tabla 6. Evaluación de la condición riparia en las unidades muestreadas según el uso de la tierra.....	45

# 1. RESUMEN

La vegetación asociada a los cuerpos de agua se ha considerado como muy importante indicador de la conservación de estos. El presente trabajo estudio la vegetación asociada a los cuerpos de agua en la Región Maya de Tikal-Yaxhá. Se caracterizó la vegetación asociada a los cuerpos de agua, así mismo relacionar los patrones de distribución de la vegetación con el estado de conservación del cuerpo de agua y por último se estableció la importancia de la vegetación acuática para el mantenimiento de la biodiversidad.

Los cuerpos de agua en donde se evaluó la vegetación acuática asociada fueron la Laguna Yaxhá, Sacnab, Quexil, Petenchel, Macanché, Salpetén, Sacpuy y Lago Petén Itzá. Los usos del suelo tomados en cuenta en el muestreo fueron bosques, potreros y poblados. En cada sitio se colectaron muestras de plantas acuáticas y se realizó una caracterización de hábitat para determinar la riqueza y estructura de los cuerpos de agua. Además se tomaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos.

En base a los registros y análisis obtenidos se encontró que la distribución de vegetación acuática asociada a los cuerpos de agua de la Región Maya de Tikal-Yaxhá está relacionada al uso de la tierra. Cabe mencionar que se obtuvo una mayor diversidad de especies en el uso de potreros debido a que las plantas acuáticas se desarrollan mejor con una alta disponibilidad de luz y poca profundidad.

En algunas lagunas donde hay actividad humana y ganadera se observó que hay un leve proceso de eutrofización debido a la presencia de malezas acuáticas tales como *Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Najas guadalupensis*, *Potamogeton ilinoensis* y *Salvinia minima*. El aporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes proveniente de los diversos afluentes tanto naturales como artificiales han provocado este cambio.

## Palabras claves

Vegetación acuática y riparia, calidad de agua, parámetros fisicoquímicos.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Las plantas acuáticas y funciones naturales

Las plantas que se han adaptado a ambientes acuáticos, generalmente se les define como plantas acuáticas. Los ciclos vitales de estas, deben efectuarse en asociación con el medio acuático, ya sea sumergida, emergida o flotante (Novelo y Lot 1988).

Las plantas acuáticas o macrófitas dentro de los ecosistemas, generalmente cubren grandes extensiones de tierra como sucede en los bordes de los ríos, los pantanos y manglares. Estos vegetales son los encargados de producir energía en forma de materia orgánica para que otros organismos tengan acceso a tomar directamente de ellas el alimento, que sean el abrigo y en muchos casos el substrato donde puedan desarrollarse.

Las macrófitas son todas aquellas plantas enraizadas que se encuentran en lagos, lagunas, aguadas y arroyos. Son generalmente grandes y notorias aunque algunas son lo suficientemente pequeñas como para sostener mas de una docena de ellas en una sola mano.

Las agrupaciones de las hidrófitas en diversas comunidades constituyen la vegetación acuática y subacuática de una región. Su presencia, cobertura y estructura constituyen el paisaje ecológico de los llamados genéricamente humedales y su salud permite la conservación de los ecosistemas acuáticos en su conjunto.

Existen más de 400 géneros de plantas vasculares reconocidas como acuáticas, las cuales se agrupan de acuerdo a su forma de vida en plantas enraizadas y plantas no enraizadas o flotantes libres. El primer grupo incluye plantas emergentes, de hojas flotantes, y sumergidas (*Cyperus*, *Nymphaea*, *Valisneria*, *Typha*).

Las flotantes libres incluyen desde especies pequeñas como *Lemna*, *Azolla*, hasta especies grandes como *Eichhornia*, *Pistia* se distribuyen en un amplio gradiente latitudinal, excepto las flotantes libres que son características de ambientes tropicales y subtropicales (Meerhoff, 2003).

A nivel mundial, la mayoría de los estudios sobre plantas acuáticas, especialmente *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, se relaciona con su crecimiento y su alta capacidad de nutrientes, por lo que son consideradas malezas acuáticas en sistemas tropicales de Norteamérica. Por otra parte, debido a su alto consumo de nutrientes son empleados en tratamientos de aguas residuales o efluentes industriales a nivel mundial, por lo que se consideran buenos bioindicadores para el monitoreo de la contaminación química.

## **2.2 Importancia de las Plantas Acuáticas**

Las interacciones ecológicas de las plantas acuáticas han sido escasamente estudiadas, sin embargo la presencia de plantas flotantes puede afectar fuertemente la red trófica a través de efectos directos e indirectos sobre distintas comunidades (macroinvertebrados, peces, plancton).

Otras de las funciones que cumplen las plantas acuáticas de manera preponderante se encuentran: Ser productores primarios, Intervenir en la captura, estabilización y formación de sedimentos; Proveer refugio y materia para anidación a un gran número de organismos; Ser oxigenadoras del agua, proveer sustrato a especies epibiontes y finalmente participar en los procesos de autodepuración de las aguas estancadas o en movimiento.

Las macrófitas acuáticas constituyen un importante rol en ecosistemas acuáticos. Las macrófitas contribuyen a la salud y diversidad general de los cuerpos de agua, actuando como indicadores de calidad de agua. Asimismo, macrófitas sumergidas son productoras de alimento para organismos acuáticos y proveen áreas de hábitats para insectos, peces y otros organismos acuáticos o semi - acuáticos.



Los humedales son decisivos para el cumplimiento de los ciclos de vida de plantas y animales, constituyen el hábitat de una gran diversidad de animales, algunas son fuente principal de alimento para organismos acuáticos, además de proveer resguardo a insectos, peces y otros organismos acuáticos y semi - acuáticos como para aves migratorias.

A nivel mundial, es cada vez más clara la necesidad de conservar los humedales, debido a que constituyen ecosistemas muy diversos que representan gran valor tanto para la conservación de la diversidad biológica como para el desarrollo de las comunidades humanas asociadas a ellos

### **2.3 Formas de Vida de las plantas Acuáticas**

Las plantas acuáticas se dividen en tres formas básicas; sumergidas, emergentes y flotantes. Las formas de vida reflejan el espectro biológico de las plantas, que en este caso son afines al ambiente acuático y en consecuencia presentan una serie de adaptaciones para vivir en dicho hábitat (Lot *et al.*, 2004). Se agrupan a partir de sus formas de crecimiento y se describen de la siguiente manera.

Hidrófita Enraizada Emergente: Mantiene sus estructuras reproductivas y vegetativas por encima del agua

Hidrófita Enraizada Sumergida: usualmente crecen enraizadas al fondo con su tallo y hojas por debajo del agua y las reproductivas pueden encontrarse sumergidas a excepción de algunas plantas que pueden desarrollar algunas hojas flotantes o aéreas o por encima de la superficie del agua o emergiendo.

Hidrófita Enraizada de hojas Flotantes: Con sus hojas y flores postradas sobre la superficie del agua, aunque en ocasiones se levantan.

Hidrófita Libre: No se encuentran enraizadas a ningún sustrato sino que flotan libremente en el agua a merced de las corrientes y viento por los que suelen concentrarse en ciertas partes de los cuerpos de agua casi siempre cerca de la orilla (Donald, R., 1993).

Hidrófita Flotadora: Las estructuras vegetativas y reproductivas libremente sobre la superficie del agua, sólo las raíces se mantienen sumergidas.

Hidrófita Sumergida: Generalmente todas las estructuras vegetativas están sumergidas y las reproductoras emergiendo ligeramente de la superficie del agua.

## **2.4 Plantas acuáticas como indicadores**

Las plantas acuáticas sirven como elementos indicadores de la calidad del agua y de las condiciones de salud, de un ambiente acuático. Por medio de la vegetación acuática es posible determinar la presencia de sustancias tóxicas tales como plaguicidas, metales pesados, concentraciones excesivas de ciertas sustancias químicas y radioactivas, e inclusive detectar la contaminación termal que resulta de procesos naturales, a través de cambios en la composición de las especies de las comunidades de plantas acuáticas, de mortalidad repentina o desaparición paulatina de ciertas especies, o bien, por el análisis directo de tejidos de las plantas (Anon, 1972)

El exceso de nutrientes se debe usualmente a actividades que se llevan a cabo en las orillas, actividades como la crianza de ganado, fertilización del suelo, uso de sistemas sépticos y remoción de la vegetación de las orillas pueden incrementar la cantidad de nutrientes presentes en los lagos, sin embargo, a pesar de que el nitrógeno estimula el crecimiento tanto de las plantas acuáticas como las terrestres el exceso produce un incremento intensivo de plantas acuáticas, lo cual incrementan la eutrofización de los cuerpos de agua y por pueden dañar la salud de estos ecosistemas.

Las plantas acuáticas comprenden un grupo variado que se han adaptado parcial o totalmente a la vida en agua dulce, sin embargo cuando crecen en forma excesiva, son consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, llegando a perjudicar las actividades del hombre, es por eso que son conceptuadas como malezas, y suelen reportarse en cuerpos de agua eutroficados (Acosta – Arce, 2006).

Sin embargo, si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente pueden ser empleadas en tratamientos de aguas residuales o efluentes industriales a nivel mundial debido a su poder de proliferación, su capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de otros compuestos del agua (Meerhoof, 2004).

## **2.5 Factores que determinan el crecimiento de las plantas acuáticas**

La abundancia y distribución de algas y macrófitas en los ecosistemas acuáticos depende de la disponibilidad de luz, claridad del agua, profundidad del agua, disponibilidad de nutrientes, tipos de sustrato (material del fondo) y grado de perturbación. Las actividades humanas dentro y en los alrededores de los cuerpos de agua y así como las características físicas del cuerpo de agua como forma y tamaño también tienen influencia en estos factores. Esta sensibilidad a parámetros como claridad del agua y nivel de nutrientes permite a las plantas acuáticas servir como indicadores de calidad del agua (Dennison *et al.*, 1993).

El crecimiento de las plantas acuáticas en un cuerpo de agua depende de los factores siguientes:

- La luz solar es el factor más importante que regula el crecimiento de las plantas. La mayor parte de las plantas que crecen dentro del agua no pueden sobrevivir con menos del 1% de la luz solar que llega a la superficie del agua.
- La claridad del agua o grado de turbiedad determina la cantidad de luz solar que puede penetrar en el agua. Sustancias disueltas y materiales suspendidos en la columna de agua afectan la claridad del agua (Rial, 2001).

- La profundidad del agua afecta las características químicas y biológicas de los cuerpos de agua al determinar el tamaño de la zona litoral (zona de baja profundidad) (Fortney *et al.*, 2003).
- La variación temporal del nivel del agua a través del tiempo es un factor determinante de la riqueza y abundancia de las comunidades vegetales acuáticas en sitios inundables afectando el tamaño y profundidad de lagos, lagunas y aguadas principalmente en aguadas presentes en planicies (Rial, 2001; Fortney *et al.*, 2003).
- Las corrientes o movimientos del agua también pueden influenciar el crecimiento y distribución de las plantas acuáticas, las olas y fuertes corrientes pueden arrancarlas del fondo.

## 2.6 Diversidad Florística de los Cuerpos de Agua

Los cuerpos de agua presentan dos tipos de vegetación.

(1) Vegetación asociada a la cuenca y

(2) Vegetación asociada a la orilla de la aguada.

Dentro de la vegetación asociada a la cuenca de la aguada se encuentran las plantas flotantes denominadas lechugales, *Eichornia stratiotes*, *Pistia stratiotes*, *Nymphaea ampla*, en otros lugares se denota la existencia de (*Lemna sp* y *Wolffia sp*) formando una capa superficial de forma continua.

Dentro de las sumergidas se encuentran *Potamogeton pectinatus*, *Valisneria americana*, *Utricularia foliosa*, *Chara sp.*, *Najas wrightiana*, *Halodule sp.*, entre otras.

En las orillas pueden desarrollarse alta diversidad de gramíneas (*Eleocharis* y *Cyperus*), entre otras. Dentro de los géneros vegetales asociados a los cuerpos de agua se encuentran hierbas, lianas y árboles como *Haematoxylum campechianum* (Palo tintal), *Ficus radula* (Copo) y *Bucida buceras* (Pucté) que pueden ser dominantes y *Pachira aquatica* (sapotebobo) que también se encuentra en los márgenes pero no de forma dominante (Lundell 1937). Pocas o ninguna planta sumergida puede existir a profundidades mayores de 5 metros.

Las áreas de estudio según Holdridge, se encuentran dentro de la zona denominada "Bosque húmedo subtropical (cálido)". Dentro de ésta zona de vida se observan muy a menudo, debido a su topografía y geología, áreas inundables o pantanos. Estas formaciones de la tierra traen consigo la formación de asociaciones vegetales adaptadas a este tipo de clima y suelo (De la Cruz, 1982).

## **2.7 Calidad del agua de los sistemas hídricos**

Comprende la toma de datos, observaciones y muestras de agua correspondientes al entorno donde se encuentre la vegetación acuática. La calidad de agua es determinada por diferentes factores tales como la hidrología, geomorfología, clima, biología de la flora y fauna presente y la fisicoquímica. Estos factores nos indican el origen del cuerpo de agua, así como también los tipos de sustrato presente.

Todo esto se relaciona estrechamente con el uso que de la tierra y la presión que estos cuerpos de agua reciban. Es importante señalar que la extensión del cuerpo de agua permite que se presente el proceso de dilución o no, no obstante siempre la calidad de agua siempre será menor debido a los factores de presión (Margalef 1983).

Los principales contaminantes del agua son las descargas de aguas residuales, 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.

Los parámetros fisicoquímicos a medir son dependientes de la especificidad y objetivos de la investigación a realizar. Estos generalmente nos indican medidas para el conocimiento del hábitat y dependiendo de los valores encontrados se sabe si es propicio para el desarrollo de los diferentes organismos. Esto también permite predecir las condiciones posteriores que faciliten la presencia de especies de otros estados sucesionales (Margalef 1983, Ramos 2004, Roldan 1992).

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.

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).

## **2.8 Características del sitio de Estudio**

Las lagunas y lagos de interés (Yaxhá, Quexil, Salpetén, Macanche, Petén Itzá, entre otras) 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.

Esta región pertenece a la provincia fisiográfica Plataforma de Yucatán, con una elevación máxima de 400 msnm. La mayor parte de El Petén lo constituyen tierras bajas tipo karst desarrolladas sobre calizas terciarias y al sur algunas calizas cretáceas (Lundell, 1937) con bajos inundables y lomas de pendientes suaves (Pérez, 1997). Estas depresiones o bajos se encuentran en las partes más bajas de las tierras planas inundables y funcionan como barrera natural para algunas especies (Castillo, 2001).

En las partes altas y bajas de la región existen numerosas aguadas, formadas aparentemente de erosiones subterráneas, siendo en algunos casos pequeños pozos de agua que se forman por la lluvia. Éstas en algunos casos efímeras por efecto de la evaporación y por el sustrato poroso de piedra caliza (Lundell, 1937). No hay manantiales o nacimientos de agua ya que la capa freática está aparentemente muy debajo de la superficie.

Los suelos en la mayor parte de El Petén son muy delgados. Los afloramientos de lechos de roca son comunes en las colinas. Se caracterizan por su textura arcillosa y desarrollados sobre material parental calcáreo, con relieve suave ondulado (Pérez, 1997). La fertilidad es variable, el drenaje lento y rocas con alta adhesividad. En términos generales, estos suelos poseen un bajo potencial para uso agrícola, siendo su capacidad de uso exclusivamente forestal (Castillo, 2001; Pérez, 1997).

El clima de la zona, producto de la ubicación geográfica, es cálido húmedo en época lluviosa (julio – noviembre, diciembre) y cálido seco durante la época seca (enero - junio). Los rangos de temperatura oscilan entre 21 y 28 grados centígrados. La precipitación total anual es de 1736.8 mm en la estación San Pedro Nactún (Pérez, 1997), con una evapotranspiración promedio de 136.19 (Castillo, 2001),

El área de Petén existen numerosas depresiones con sedimentos arcillosos impermeables que conservan el agua durante la estación lluviosa. Algunas de las depresiones más pequeñas fueron construidas o profundizadas por los antiguos Mayas para usarlas como depósitos de agua. Algunos depósitos o aguadas, persisten a través de la estación seca. Proporcionando así, el agua necesaria para la subsistencia de la vida selvática. Grandes depresiones que cubren muchos kilómetros cuadrados, llamadas bajos se inundan hasta un metro, o más, durante la estación lluviosa, pero rápidamente se secan durante la estación seca con excepción de las aguadas remanentes en las partes más profundas.

## **2.9 Parametros Fisicoquímicos**

La investigación de la calidad del agua está orientada a la determinación del impacto que las actividades humanas tienen sobre las propiedades de la misma. Es por eso que los parámetros que se evalúan son aquellos que indican el estado actual y las tendencias futuras que caben esperarse del cuerpo de agua.

Los parámetros fisicoquímicos nos indican medidas para el conocimiento del hábitat y dependiendo de los valores encontrados se sabe si es propicio para el desarrollo de los diferentes organismos (Margalef, 1983; Roldán, 1992).

Los parámetros más evaluados son los siguientes: Potencial de Hidrógeno pH, Temperatura T°, Conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), Salinidad, Nutrientes (Nitritos, Nitratos, Amonio, N Total, Fosfatos, F Total), Sulfatos, Demanda Bioquímica Orgánica (DBO), Demanda Química Orgánica (DQO), Sólidos en Suspensión, Sólidos Disueltos y Sólidos Totales (Margalef, 1983; Roldán, 1992).



## **2.10 Estudios anteriores**

En 1937 Lundell clasifica la vegetación de Petén en asociaciones que se reconocieron principalmente por la posición fisiográfica, fisonómica y composición florística. Parte de este estudio evalúa la vegetación de aguadas y de algunos ríos y lagos.

Lot y Novelo (1988) en su ponencia “El Pantano de Tabasco y Campeche: la reserva más importante de plantas acuáticas en Mesoamérica”, presentaron una síntesis de sus trabajos en Campeche y Tabasco y describen las diferentes asociaciones leñosas y herbáceas que encuentran en estos pantanos, las especies más importantes, las raras y las que están en riesgo de extinción.

Schulze and Whitacre (1999), estudiaron en el Parque Nacional Tikal, la distribución de árboles y arbustos con base en la edafología y topografía. En este estudio se concluyó que en el parque Tikal estos factores son determinantes para la distribución de las plantas.

León y Morales (2000) describieron la composición florística de diferentes tipos de hábitat acuáticos en el parque Nacional Laguna del Tigre, se colectaron 130 especies. También Morales (2001) reportó 236 especies en su trabajo “Flora acuática del Parque Nacional Laguna del Tigre”.

Morales y Flores (2001) realizaron el estudio “Vegetación acuática de los cenotes del área de Macabillero, Parque Nacional Sierra de Lacandón”.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto forma parte del estudio “Flora acuática de Guatemala”, coordinado por el herbario USCG, del Centro de estudios Conservacionistas de la USAC. Estos estudios pretenden contribuir con la conservación y manejo de los recursos naturales del país por medio de la investigación ecológica y taxonómica de la vegetación asociada a recursos hídricos y la caracterización de estos recursos.

La flora acuática de Guatemala, necesita ser mas explorada, ya que regiones aledañas de México y Honduras, reportan la presencia de especies que en Guatemala aún no se han encontrado (Lot y Novelo 1997). Esto nos debe motivar a extender la exploración botánica, ya que esto repercutirá en un incremento de la diversidad de macrófitas acuáticas del país.

Por otra parte, debido a la escasez de ríos superficiales en la región Maya, las aguadas y lagunas son un recurso hídrico de suma importancia, tanto para las poblaciones humanas, como para las poblaciones de flora y fauna. Esto hace fundamentales a estos cuerpos de agua para el sustento de la cultura forestal de Petén relacionada con la extracción y aprovechamiento de recursos maderables y no maderables, cultura que ha sido compatible a través de los años, con la conservación de los bosques.

Las plantas acuáticas cumplen papeles básicos en el funcionamiento de los ecosistemas. Integrando el conocimiento, el manejo y la protección de forma interactiva, se contribuye a la resolución de un problema de conservación, por medio de la resolución de un problema de taxonomía y distribución de macrófitas acuáticas y viceversa.

Existe el compromiso de que los resultados que se obtengan, se integran en el plan maestro de cada área, para el manejo y monitoreo de los cuerpos de agua. Por otra parte, su integración a los planes de Manejo se convierte en una herramienta de evaluación del manejo integrado de recursos naturales de estas áreas Protegidas.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

- Conservación de los cuerpos de agua y su flora asociada en la región Maya Tikal –Yaxhá, Petén, Guatemala

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Identificar la vegetación asociada a los cuerpos de agua de la región de Tikal-Yaxhá, Petén.
- Determinar la calidad de agua en los cuerpos de agua de la región de Tikal-Yaxhá, Petén.
- Relacionar los patrones de distribución de la vegetación con la calidad de agua y establecer el estado de conservación del cuerpo de agua y las diferencias en su gradiente ambiental.

## 5. MÉTODOLÓGIA

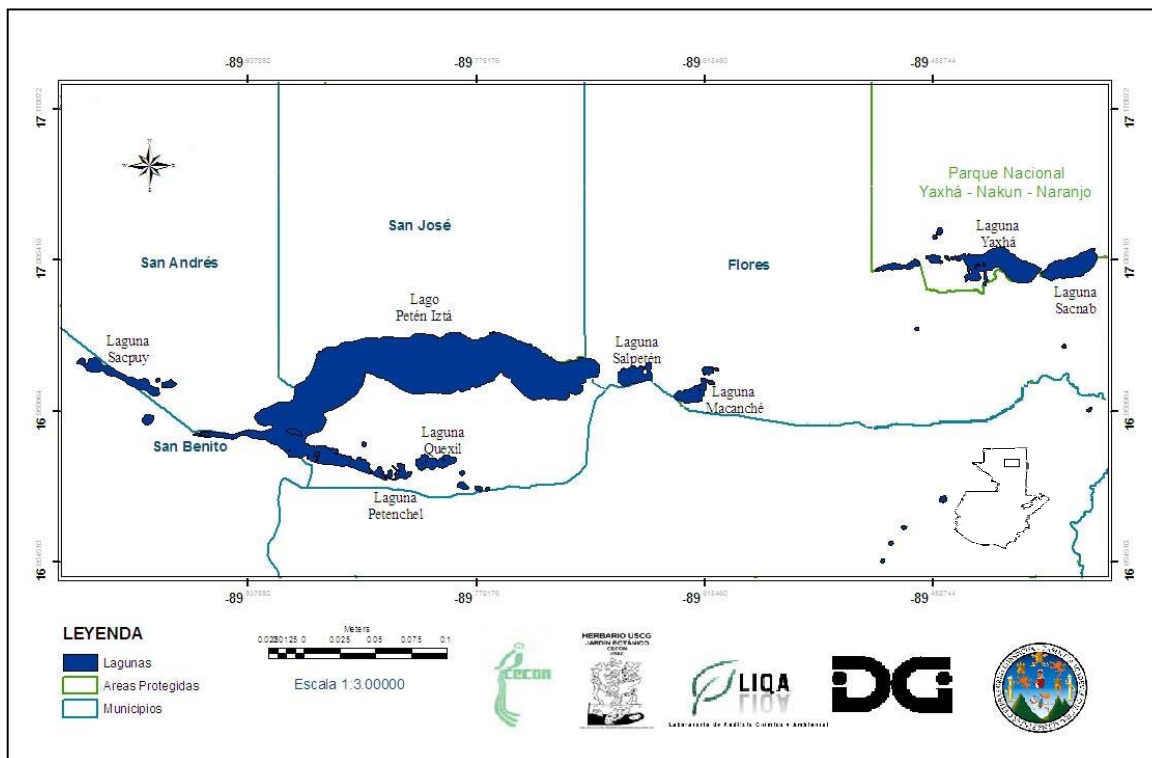
### 5.1 Selección de Sitio y Muestreo

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 podía ser seleccionado como un sitio de colecta. En cada sitio de colecta se tomaron datos durante dos meses. Con lo que se obtuvieron dos réplicas temporales por sitio de colecta. En cada sitio se tomaron datos fisicoquímicos del agua y se colectaron muestras de vegetación acuática.

**Tabla 1.** Numero de Parcelas, Transectos y Tratamientos por cada sitio de Muestreo.

Localidad	Tratamiento	Número Total	
		Transectos	Parcelas
Lago Petén Itzá	Bosque	2	16
	Potrero	2	16
	Poblados	2	16
Laguna Sacpuy	Bosque	2	16
	Potrero	1	8
	Poblados	1	8
Laguna Macanché	Bosque	2	16
	Potrero	1	8
	Poblados	1	8
Laguna Salpetén	Bosque	2	16
	Potrero	1	8
Laguna Quexil	Bosque	2	16
Laguna Petenchel	Bosque	2	16
Laguna Yaxhá	Bosque	2	16
Laguna Sacnab	Bosque	2	16
Total		26	200

Fuente: Datos de Campo, 2009



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

### 5.1.1 Caracterización Botánica

Se seleccionaron 8 lagunas esto dependió de la dimensión y la complejidad de los cuerpos de agua. En cada laguna se seleccionaron tres tratamientos: Potrero, Poblados y Bosque. En cada tratamiento se realizó un transecto de 100 mts. y en cada transecto se realizaron 8 parcelas de 1 m<sup>2</sup> (Ceska y Ceska, 1986). En cada parcela se tomaron datos de identidad de las especies presentes en el cuadrante, además se registraron especies de la vegetación ribereña. Se obtuvieron un total de 200 parcelas por temporada.

La colecta fue manual, excepto en los sitios que eran muy profundos donde se utilizó un rastrillo o escoba plástica para colectar plantas sumergidas, las plantas emergentes fueron colectadas manualmente.

Con fines de complementar el listado general de plantas del sitio se colectaron plantas afuera de la parcela asignada a cada sitio. En los sitios se realizó una identificación preliminar de las muestras.

Posterior a la colecta, se procedió a herborizar todas las plantas colectadas, se utilizaron las técnicas respectivas para preservar los especímenes y se anotó su información correspondiente. Para transportar las muestras se preservaron en papel periódico y/o encerado, se colocaron en bolsas plásticas de 100 lbs. con alcohol al 95%. A cada muestra se le escribió el nombre del colector, el número de colecta, localidad y si se sabe el nombre científico también se anota.

Los especímenes colectados en los viajes de campo fueron identificados utilizando la Flora de Guatemala, Flora de Nicaragua, Flora Mesoamericana y Manual de Plantas de Costa Rica. Las muestras ya identificadas se etiquetaron y montaron, para ser ingresadas a la colección de referencia del Herbario USCG.

### *5.1.2 Caracterización Físicoquímica*

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 fisicoquímicos 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. Se determinó la profundidad. Todos los sitios se registraron por medio de un sistema de posicionamiento global. Las mediciones fisicoquímicas se realizaron con un Multiparamétrico Portátil MULTILI 340i WTW y Potenciómetro Portátil HACH Senslon.

### *5.1.3 Evaluación de hábitat*

Para la evaluación de hábitat se llenaron boletas de campo que evaluaron la estructura de vegetación riparia, se hicieron observaciones del hábitat el cual fue el área de la playa paralela a la ubicación de las unidades muestreadas en cada laguna. La boleta evalúa, la estratificación de la vegetación en una formación vegetal se debe en parte a las diferencias entre las fases del desarrollo de las plantas y las formas de vida de las mismas. Otros datos que se consideraron fueron si había presencia de ríos u otros cuerpos de agua cercanos, animales (cuales), rastros de animales, quema y tumba, presencia de árboles muertos, basura y otro tipo de impacto que no se incluyera en la evaluación.

## 5.2 Análisis de Datos

Se elaboraron bases de datos con toda la información obtenida. En base a las especies encontradas se realizó una descripción general de los datos encontrados en tres diferentes tratamientos (que consta de bosque, potrero y poblados). Las muestras de plantas identificadas se presentaron en tablas con su respectiva clasificación taxonómica (nombre científico y familia), además se elaboraron tablas o cuadros y gráficas de los parámetros fisicoquímicos determinados en los sitios de colecta, para un mejor análisis e interpretación de los datos. Se utilizó estadística descriptiva para evaluar las riquezas abundancias relativas de la vegetación acuática y las diferencias entre los sitios.

Para estimar la riqueza total representada de la región en los diferentes cuerpos de agua y vegetación asociada se realizaron curvas de acumulación de especies, con los estimadores ICE 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).

La distribución de la vegetación acuática, la similitud de los ensambles que conforman cada cuerpo y el grado de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la distribución de la vegetación acuática de agua se evaluó por medio de un análisis multivariado de Análisis de Correspondencia Canónica CCA el cual es idóneo para ese tipo de datos (James y McCulloch, 1990; McGarical *et al.*, 2000). Para evaluar las similitudes de las localidades estudiadas en cuanto a la vegetación acuática encontrada se corrieron análisis de agrupamiento utilizando el estimador Jaccard.

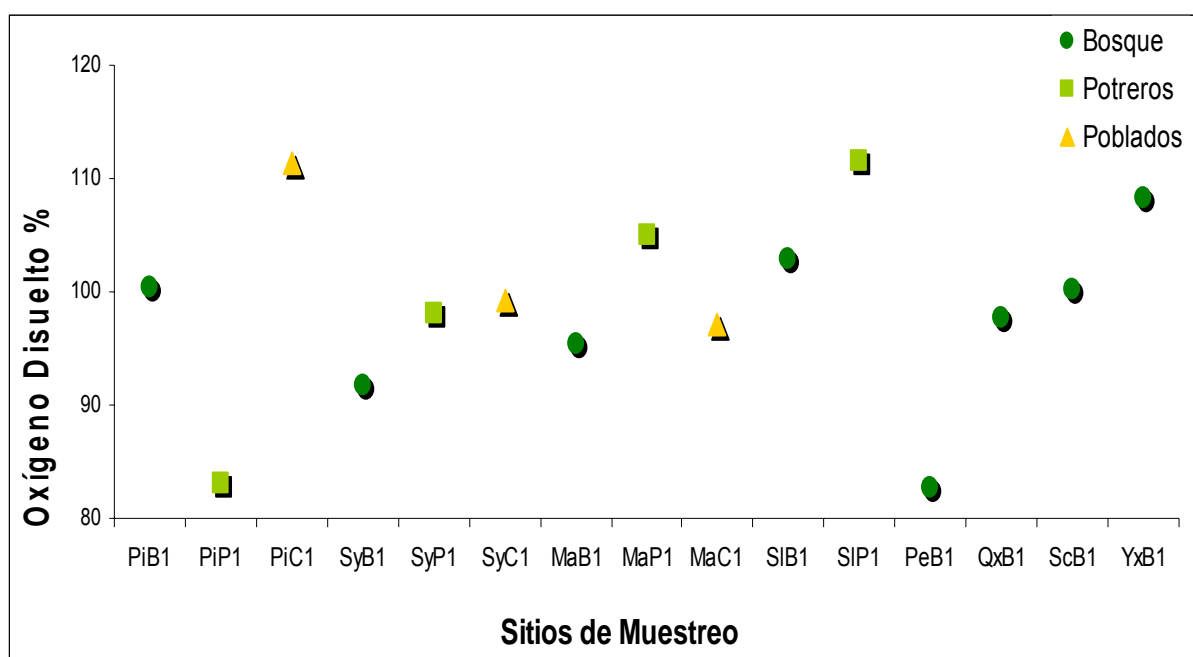
Finalmente para la evaluación de la estructura del hábitat se realizó la caracterización del mismo, basándose en las características generales que presentan los bosques tropicales según Richard (1996). Así mismo se realizó la evaluación de las condiciones del hábitat, para esto se estimaron los porcentajes de frecuencia de las condiciones evaluadas para el total de los sitios estudiados con respecto al uso de la tierra.



## 6. RESULTADOS

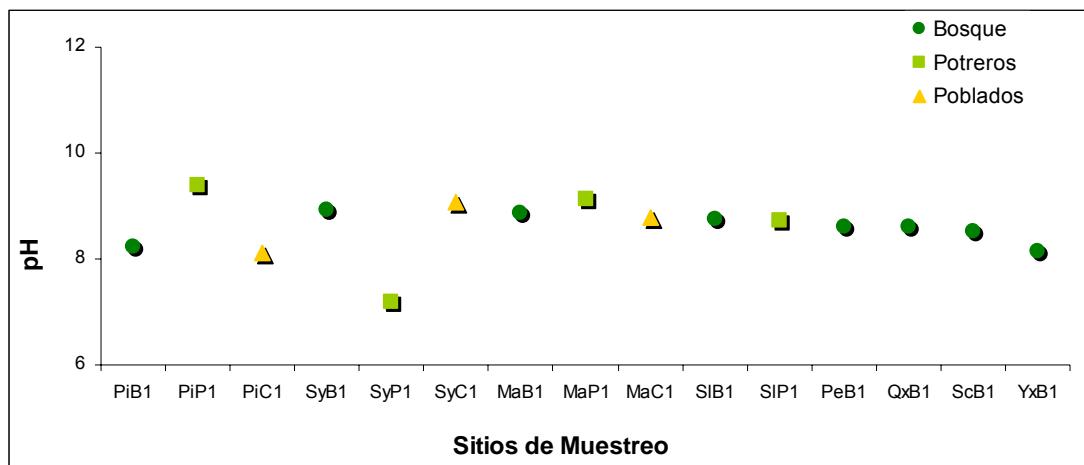
### 6.1 Caracterización Físicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

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 (Tabla 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).



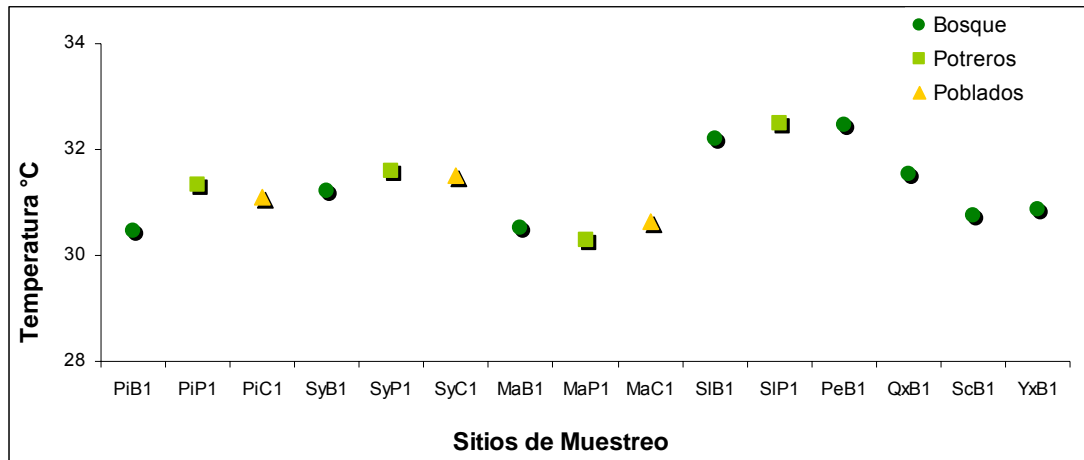
**Figura 2.** Rangos de Oxígeno Disuelto en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomados entre junio y septiembre de 2009

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 (Tabla 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 los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomados entre junio y septiembre de 2009

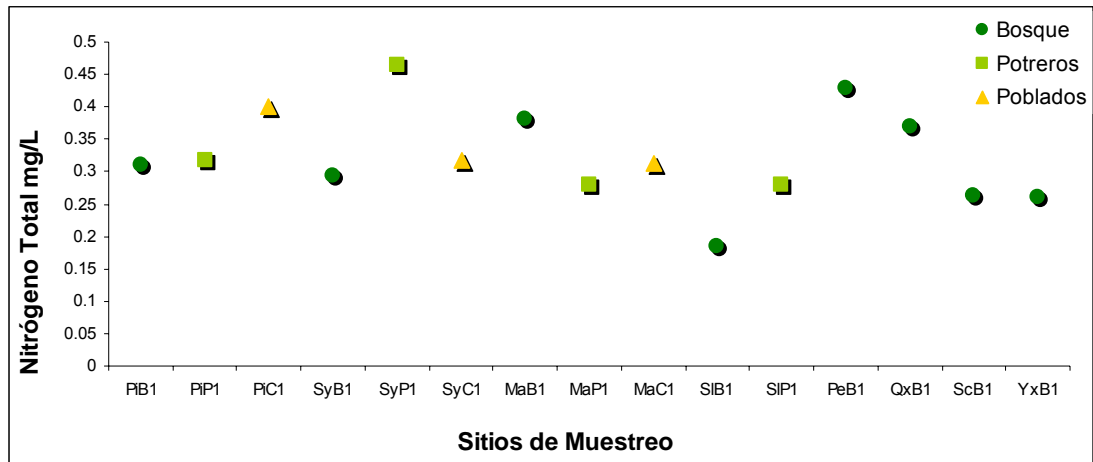
Los valores de temperatura de igual forma se encuentran entre lo permisible para aguas dulces, los valores se encuentran entre un rango de 29.6 y 34.8 °C (Tabla 2). Los valores más bajos se encuentran registrados en los sitios asociados a bosque en comparación con los otros tratamientos. Los valores 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.



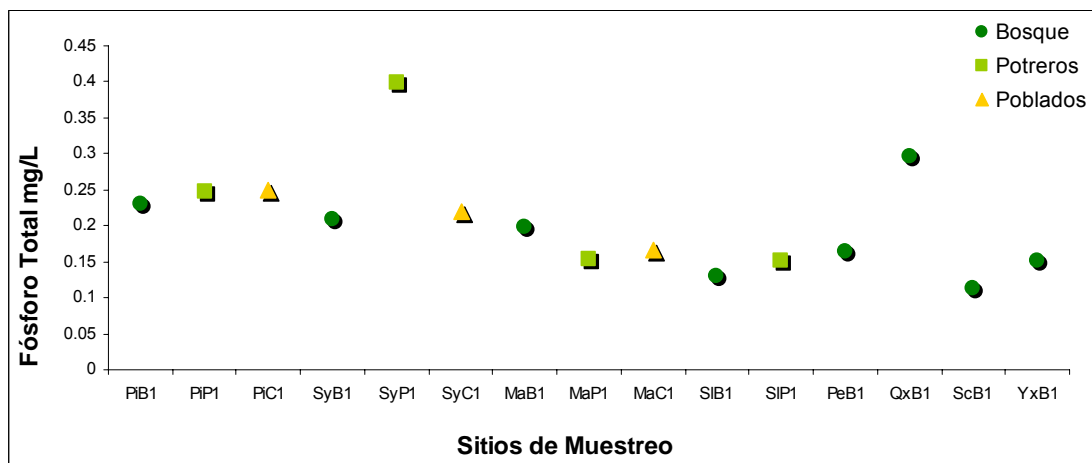
**Figura 4.** Rangos de Temperatura en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomados entre junio y septiembre de 2009

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 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 (Tabla 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 (Tabla 2).



**Figura 5.** Valores de Nitrógeno Total en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, entre junio y septiembre de 2009



**Figura 6.** Valores de Fósforo Total en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, entre junio y septiembre de 2009

**Tabla 2.** Características Físicoquímicas de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomadas de junio a septiembre del 2009. Primer Muestreo

Localidad		Parámetro													
		OD mg/L	OD %	pH	T °C	Conc uS/cm	Sal %	TDS mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	NH <sub>4</sub> mg/L	N Total mg/L	PO <sub>4</sub> mg/L	P Total mg/L	SO <sub>4</sub> 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),

NO<sup>2</sup> (Nitritos), NO<sup>3</sup> (Nitratos), NH<sup>4</sup> (Amonio), N Total (Nitrógeno Total), PO<sub>4</sub> (Ortofosfato), P Total (Fósforo Total), SO<sub>4</sub> (Sulfatos)

**Tabla 2.** Características Físicoquímicas de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá, tomadas de junio a septiembre del 2009. Segundo Muestreo

Localidad		Parámetro														
		OD mg/L	OD %	pH	T °C	Conc uS/cm	Sal %	TDS mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	NH <sub>4</sub> mg/L	N Total mg/L	PO <sub>4</sub> mg/L	P Total mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	
Lago Petén Itzá	B1	14.8	100.8	10.7	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				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	14.6	115.5	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			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	

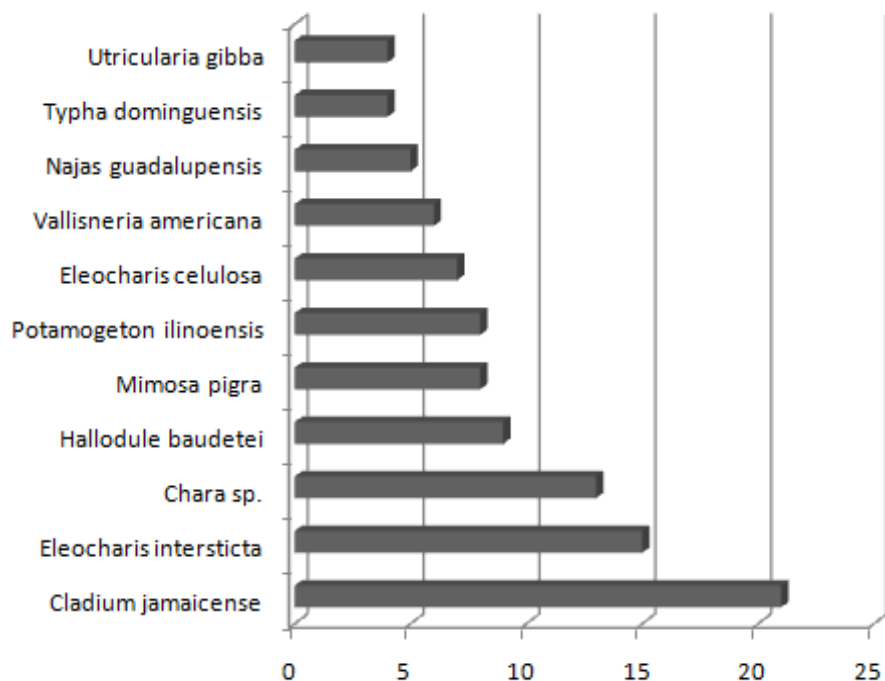
OD (Oxígeno Disuelto), pH (Potencial de Hidrógeno), T (Temperatura), Cond (Conductividad), Sal (Salinidad), TDS (Sólidos Disueltos Totales),

NO<sup>2</sup> (Nitritos), NO<sup>3</sup> (Nitratos), NH<sup>4</sup> (Amonio), N Total (Nitrógeno Total), PO<sub>4</sub> (Ortofosfato), P Total (Fósforo Total), SO<sub>4</sub> (Sulfatos)

## 6.2 Caracterización de la Vegetación de los Cuerpos de Agua la Región Maya Tikal –Yaxhá

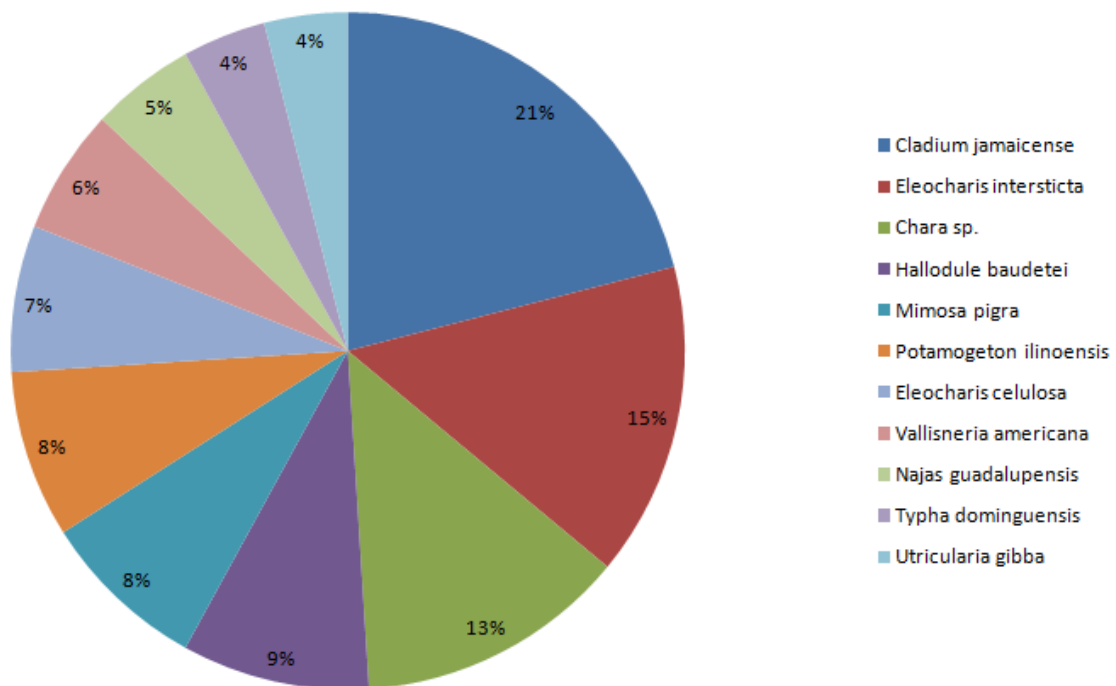
El análisis de la vegetación acuática se realizó con base en la frecuencia de individuos muestreados en hábitat acuático y ripario, teniendo un valor total de frecuencias de 1229. Distribuyéndose en 134 de valor de frecuencia para el hábitat acuático y 1095 para el hábitat ripario. Se encontró un total de 232 especies, de las cuales 29 fueron del hábitat acuático con 17 familias y 203 fueron del hábitat ripario con 65 familias, teniendo un total de 82 familias (Anexo 1).

Las especies de plantas acuáticas más importantes por presentar los mayores valores de frecuencia de aparición en el total de las unidades muestreadas fueron *Cladium jamaicense* seguida por *Eleocharis intersticta*, *Chara sp.* y *Hallodule baudetei* (Figura 7).



**Figura 7.** Principales especies de plantas acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

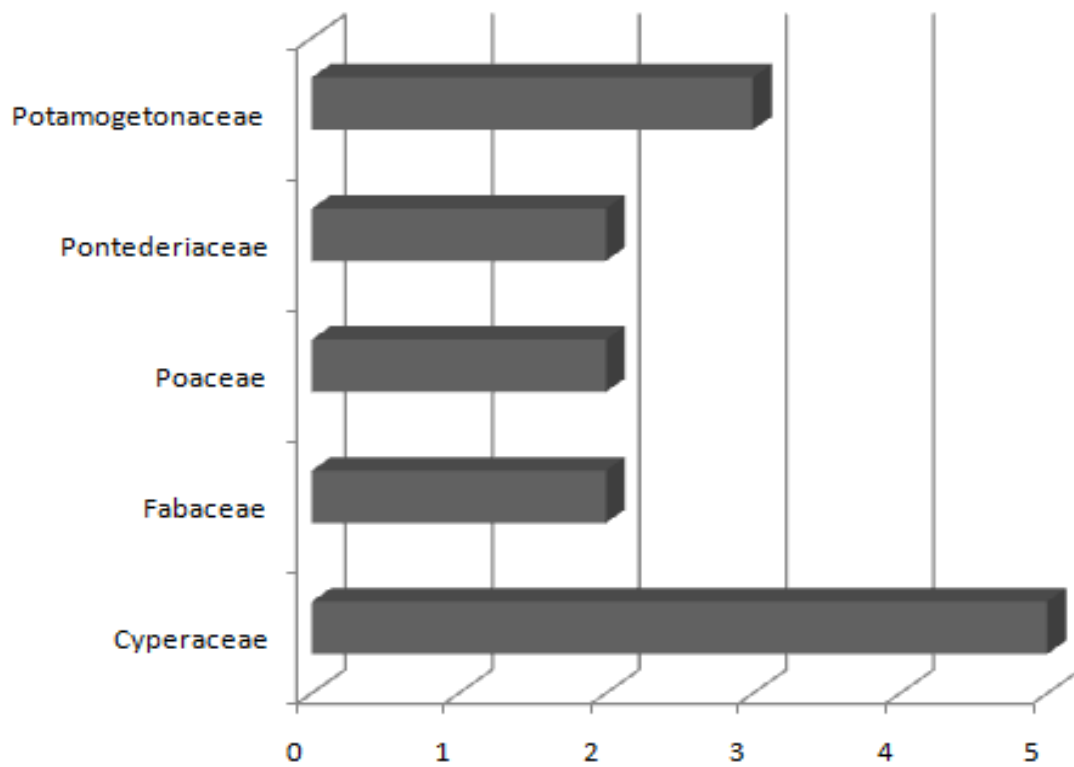
Como se muestra en la figura 8 los mayores valores de porcentaje de aparición en el total de las muestras *Cladium jamaicense* estuvo presente en el 21% de las muestras, *Eleocharis intersticta* estuvo en el 15 % y *Chara* sp. en el 13 % de las muestras. Los valores medios en porcentaje de aparición los presentaron *Hallodule baudetei* que estuvo presente en el 9% de las muestras y *Mimosa pigra* junto con *Potamogeton illinoensis* estuvieron en el 8% de las muestras. Los valores menores de porcentaje de aparición lo presentaron *Eleocharis cellulosa*, *Vallisneria americana*, *Najas guadalupensis*, *Typha dominguensis* y *Utricularia gibba* con porcentajes menores al 7% de aparición en el total de las muestras.



**Figura 8.** Porcentaje de aparición de las especies encontradas en el total de unidades muestreadas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.



Las familias más importantes por el número de especies que presentaron fueron Cyperaceae (5 especies) compuesta por plantas emergentes, Potamogetonaceae (3 especies) siendo estas plantas sumergidas, Pontederiaceae (2 especies) se compone de plantas flotantes, Poaceae (2 especies) y Fabaceae (2 especies) que son familias de plantas emergentes (Figura 9).



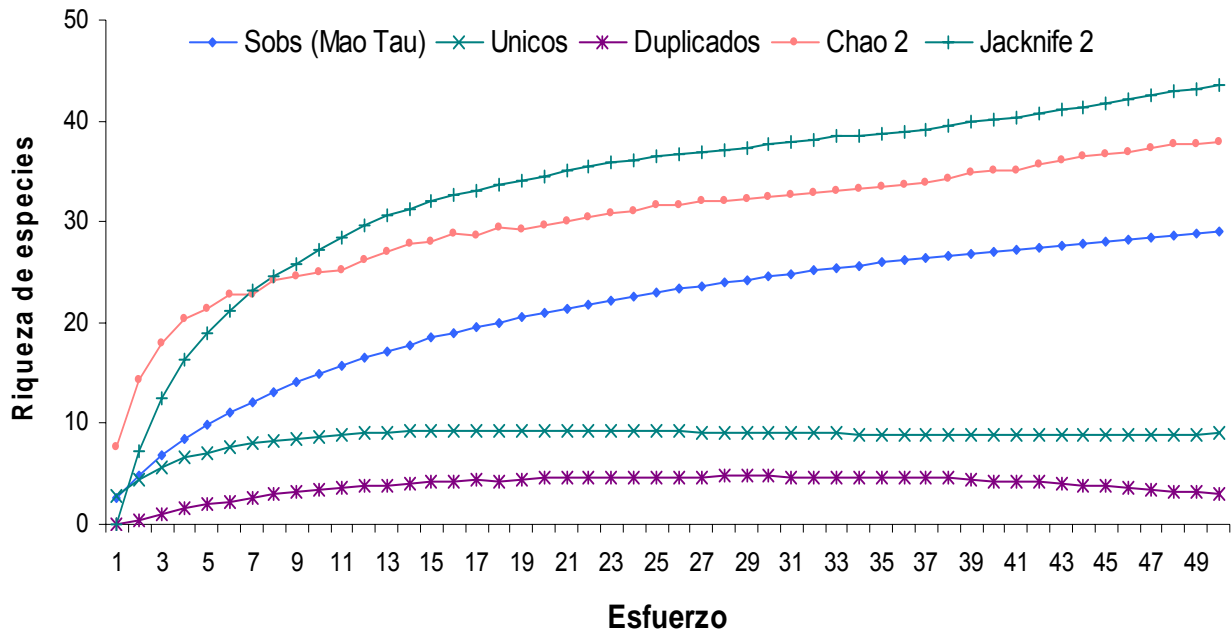
**Figura 9.** Familias más importantes de plantas acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

### 6.3 Curvas de acumulación de especies

Para estimar cuanta riqueza de vegetación acuática que hay en los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá se utilizaron curvas de acumulación de especies y estimadores de riqueza no paramétricos (Chao, 2005; Coldwell *et al.* 2005; Coldwell y Coddington, 1994).

Los resultado se comportaron de manera asintótica, evidenciando un buen nivel de muestreo en el estudio y en que lugares captar especies muy raras requeriría un mayor esfuerzo (inversión de tiempo y económico) para completar totalmente el inventario (Coldwell y Coddington, 1994).

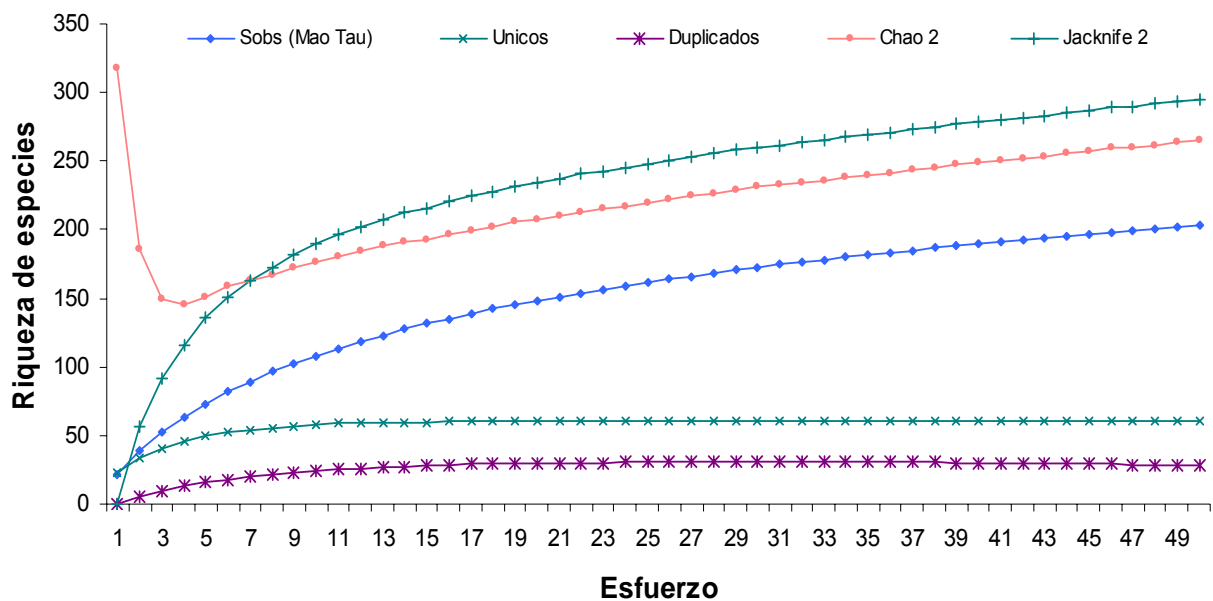
Por último se comparo entre los valores máximos de riqueza observada y estimada para representar el nivel de inventario (Escalante, 2003; Coldwell, 2005; Urbina-Cardona y Reynoso, 2005). Los estimadores para diversidad gamma fueron basados en la incidencia de especies (Presencia/Ausencia).



**Figura 10.** Curva de acumulación de Plantas Acuáticas en los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

En la figura 10 se observa que la curva de acumulación de especies acuáticas no tiene un comportamiento asintótico, ya que se obtuvo un 68 de la representatividad de la región, con un total de 29 especies.

Así mismo se realizó una curva de acumulación de especies ribereñas y se obtuvo un 69 % de la representatividad de la región, con un total de 203 especies. En ambas condiciones (acuáticas y riparias) para encontrar nuevas especies en estos cuerpos de agua requerirá un mayor esfuerzo.



**Figura 11.** Curva de Acumulación de Plantas Ribereñas en los Cuerpos de Agua de la región Tikal-Yaxhá.

## 6.4 Riqueza y Diversidad por Sitio

### 6.4.1 Diversidad alfa ( $\alpha$ )

La riqueza por tratamiento fue muy variable, siendo el tratamiento de potreros los que presentaron mayor riqueza de plantas acuáticas en comparación con los tratamientos de bosques y poblados. En la tabla 3 se observan en número total de especies encontradas por tratamiento por sitio de muestreo, sin tomar en cuenta los diferentes esfuerzos de muestreo.

**Tabla 3.** Riqueza Alfa por Tratamiento

Localidad	Tratamiento	Total	Localidad	Tratamiento	Total
	Bosque	6		Bosque	1
Petén Itzá	Poblado	14	Sacpuy	Poblado	5
	Potrero	11		Potrero	3
	Bosque	2	Salpetén	Bosque	6
Macanché	Poblado	4		Potrero	7
	Potrero	2	Yaxhá	Bosque	5
Petenchel	Bosque	8	Sacnab	Bosque	7
Quexil	Bosque	4			

Fuente: Datos de Campo, 2009.

### 6.4.2 Diversidad beta ( $\beta$ )

La similitud de especies de plantas acuáticas entre y dentro los cuerpos de muestreo fue evaluada con un índice de similitud basado en la presencia/ausencia, esto para ver el porcentaje de especies compartidas o si existe complementariedad entre ellas. Los valores obtenidos son resumidos en la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de la Complementariedad o Similitud (Riqueza  $\beta$ ) en cada tipo de tratamiento utilizando el Índice Estimado de Chao - Sorensen (Escala 0 a 1).

	Pi	Sy	Qx	Pe	Ma	SI	Yx	Sc
Pi	<b>1</b>	0.278	0.618	0.406	0.392	0.998	0.191	0.481
Sy	-	<b>1</b>	0.672	0.447	0.561	0.621	0.358	0.761
Qx	-	-	<b>1</b>	0.753	0.909	0.846	0	0.784
Pe	-	-	-	<b>1</b>	0.472	0.675	0	0.488
Ma	-	-	-	-	<b>1</b>	0.637	0.164	0.746
SI	-	-	-	-	-	<b>1</b>	0.235	0.718
Yx	-	-	-	-	-	-	<b>1</b>	0.416
Sc	-	-	-	-	-	-	-	<b>1</b>

Fuente: Datos de Campo, 2009.

(Pi - Petén Itzá), (Sy - Sacpuy), (Qx - Quexil), (Pt - Petenchel), (Ma - Macanché),  
(SI - Salpetén), (Yx - Yaxhá), (Sc - Sacnab).

## 6.5 Análisis Multivariado

### 6.5.1 Análisis de Correspondencia Canónica - CCA -

Por medio de un análisis de correspondencia canónica - CCA - se relacionó la distribución de las plantas acuáticas en los diferentes cuerpos de agua estudiados y las variables fisicoquímicas que se registraron para cada sitio. En la tabla 5 se presentan los valores del CCA realizado. Se observa que los ejes canónicos representan bien la varianza de la distribución de las plantas acuáticas. Se observa que los tres primeros ejes de ordenación la variación explicada acumulada fue de 18%.

**Tabla 5.** Análisis de Correspondencia Canónica. Especies de vegetación acuática y variables fisicoquímicas y ambientales (N= 29).

Varianza total ("inercia") en los datos de especie: 6.1962

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigenvalor	0.481	0.358	0.285
Varianza en datos de especies			
% de varianza explicada	7.8	5.8	4.6
% Acumulativo explicado	7.8	13.5	18.1
Correlación de Pearson, Spp-Amb*	0.912	0.833	0.792
Kendall (Rank) Corr., Spp-Amb	0.624	0.550	0.604

Fuente: Datos de Campo, 2009.

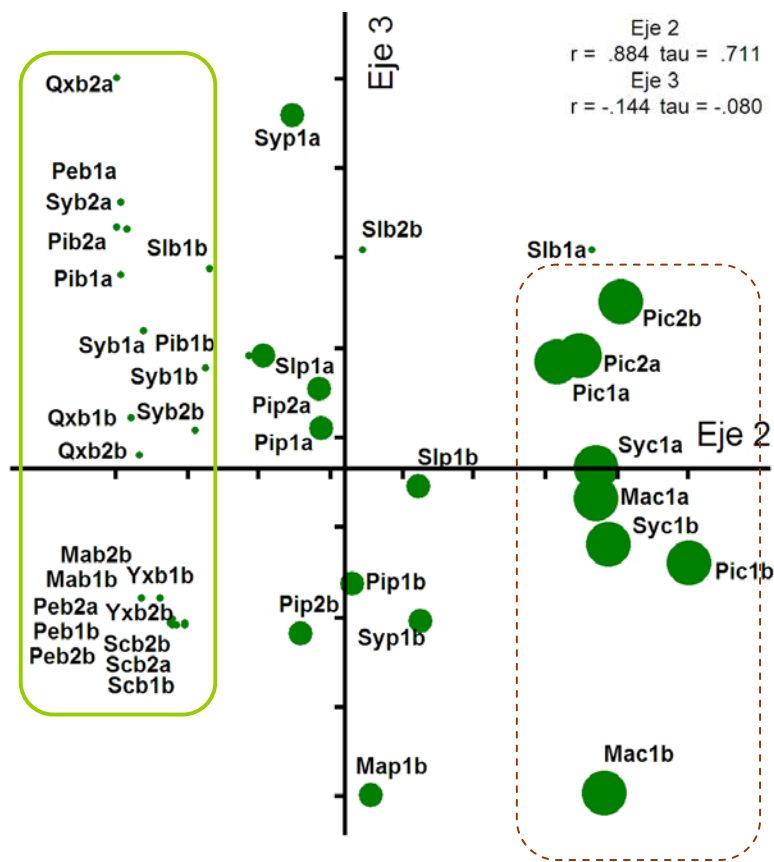
\* Correlation between sample scores for an axis derived from the species data and the sample scores that are linear combinations of the environmental variables. Set to 0.000 if axis is not canonical.

En el CCA se observa que las variables que agrupan mejor a los diferentes cuerpos de agua fueron el uso de la tierra, contaminación y nitrógeno total para los tratamientos planteados. Entre los patrones de un modo descriptivos se muestran en la siguiente figura.



**Figura 12.** Análisis de Correspondencia Canónica - CCA -. Ordenación de los sitios muestreados con relación a las plantas acuáticas y variables fisicoquímicas y ambientales. Para el análisis se incluyeron 50 muestras y 29 especies. (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). a (Primer muestreo) y b (Segundo Muestreo)

En la siguiente figura se puede observar que coeficiente de correlación (Tau) para la variable de uso de la tierra está correlacionado con el eje 2. Este gradiente es de interés ya que en la figura X agrupa en el lado derecho a todos los sitios asociados a poblados, en el centro a los potreros y en la parte izquierda los sitios asociados a bosque.

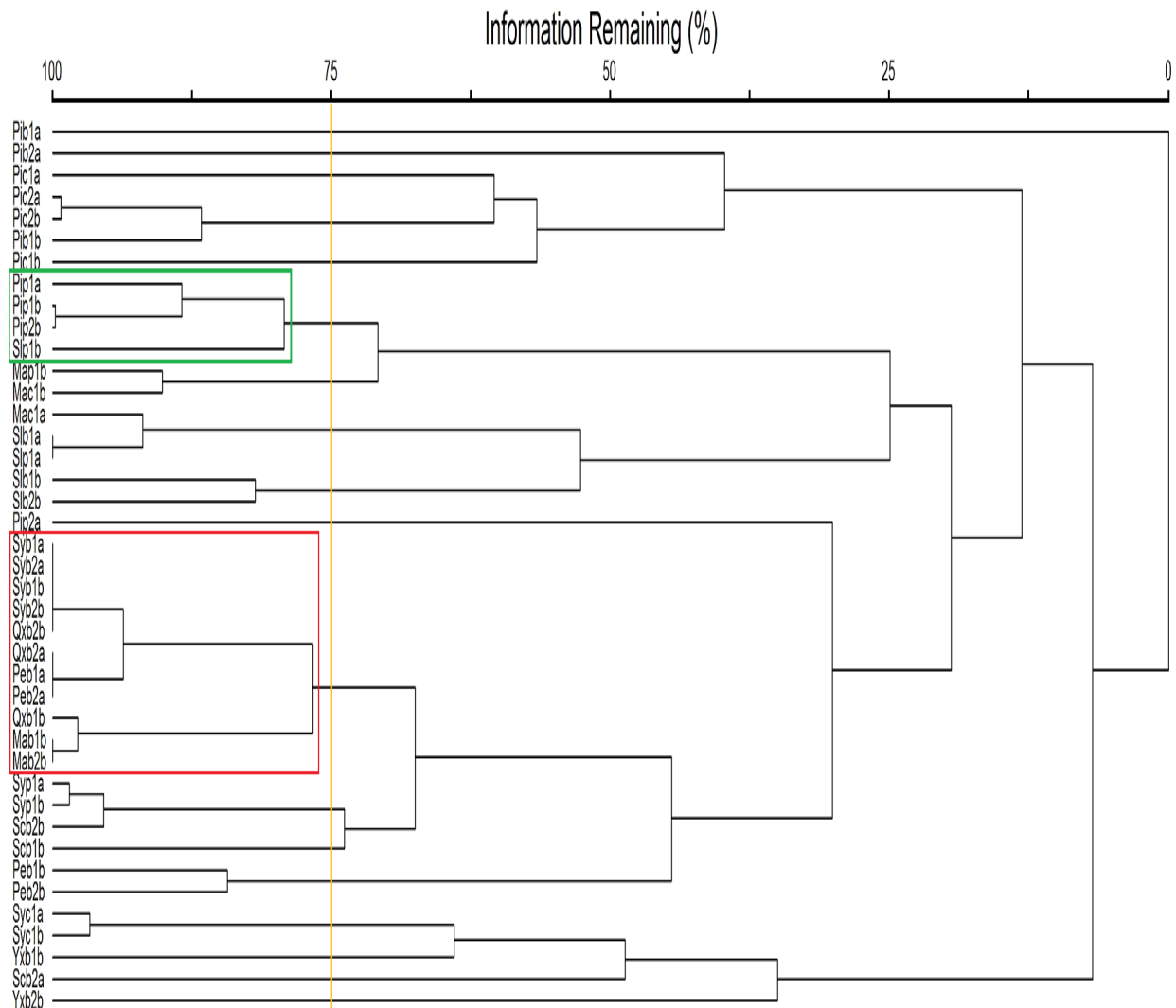


**Figura 13.** Efecto de la variable Uso de la Tierra sobre los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.

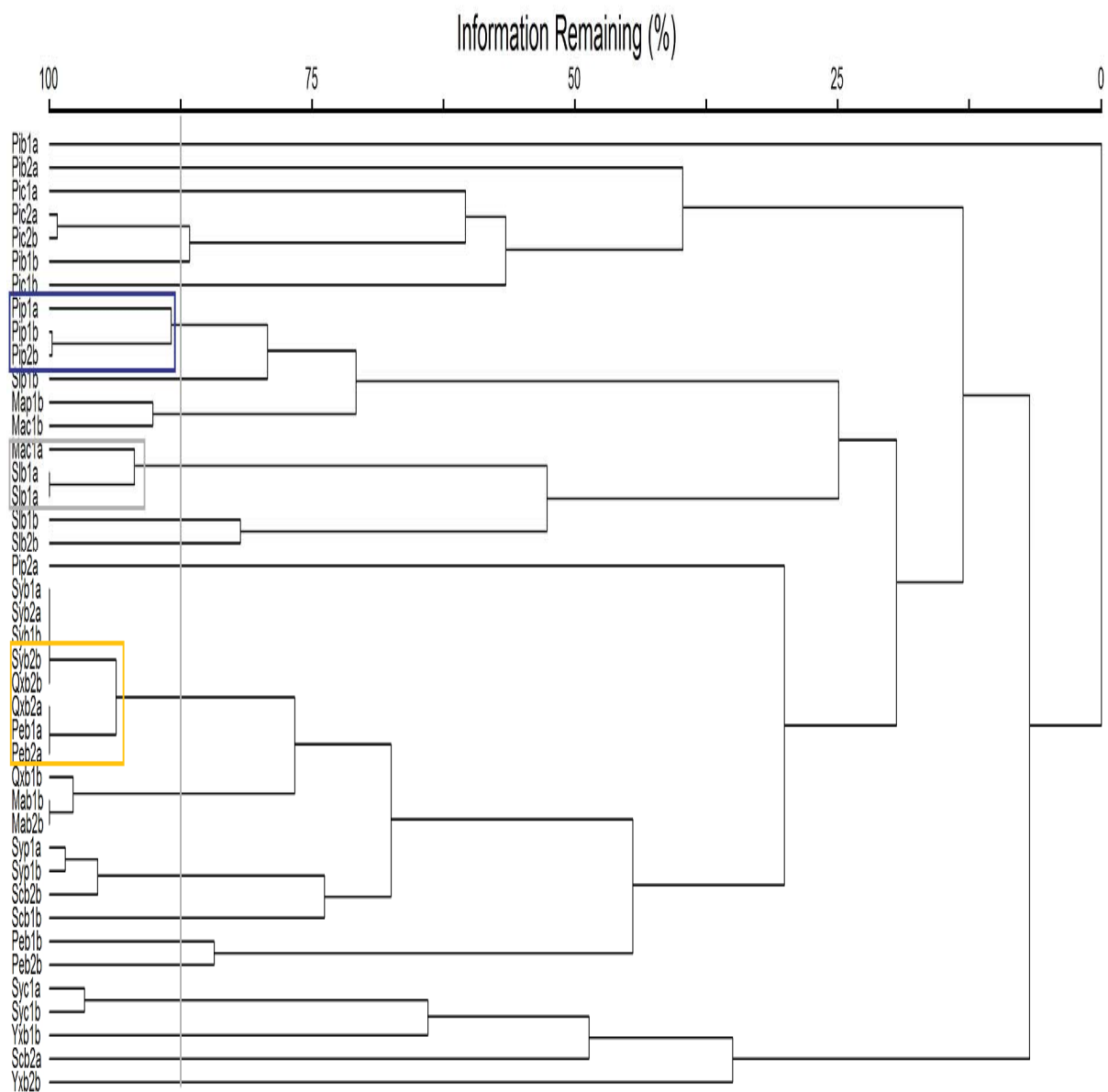


### 6.5.2 Análisis de Agrupamiento Jerárquico

Se efectuó el análisis de agrupamiento al conjunto unidades utilizadas para el muestreo de la vegetación acuática para realizar un análisis respecto a su composición florística. Para esto fue utilizado el estimador de Jaccard, realizando un primer corte a 75% de similitud (Figura 14) y un segundo corte a un 87.5% de similitud (Figura 15).

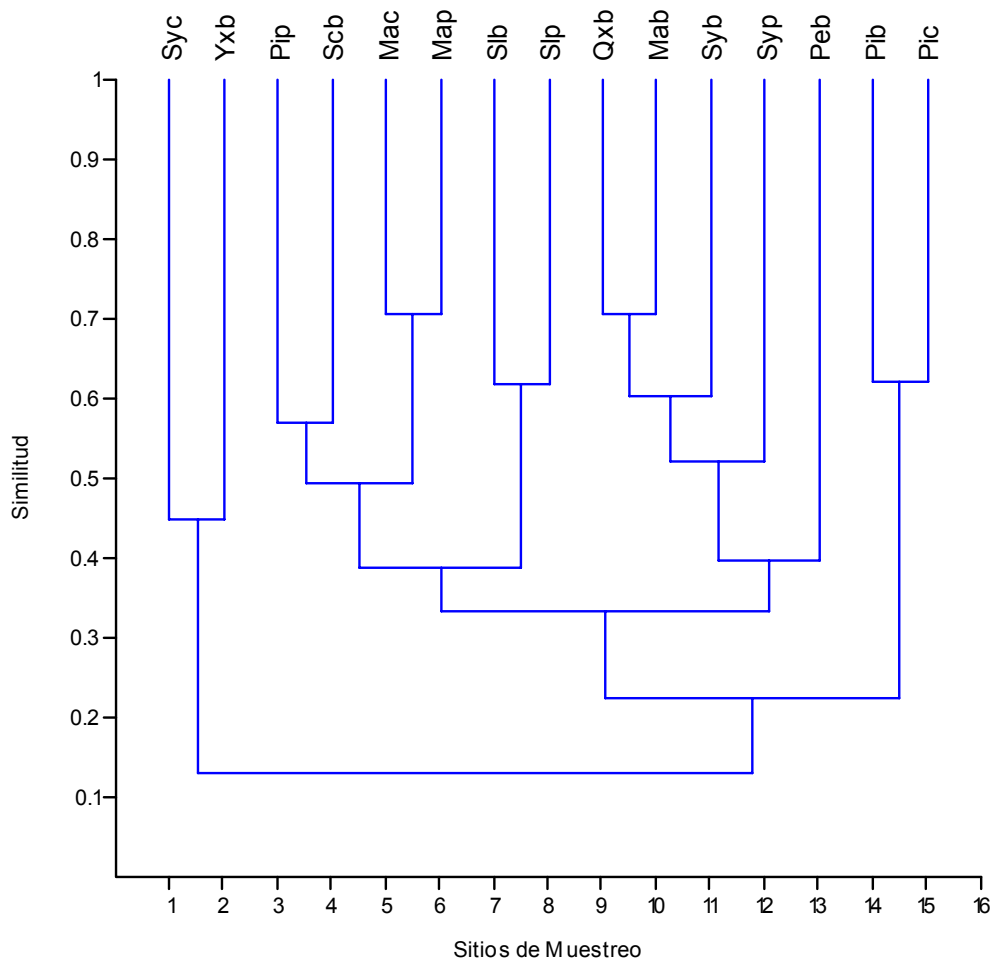


**Figura 14.** Análisis de Agrupamiento para hábitat acuático, corte a 75% de similitud. (Estimador Jaccard). (Pi - Petén Itzá), (Ma - Macanché), (SI - Salpetén), (Sc - Sacnab), (Yx - Yaxhá), (Pt - Petenchel), (Qx - Quexil) y (Sy - Sacpuy). b (Bosque), p (Potrero) y c (Poblados). a (Primer muestreo) y b (Segundo Muestreo)



**Figura 15.** Análisis de Agrupamiento para hábitat acuático, corte a 87.5% de similitud. (Estimador Jaccard) (Pi - Petén Itzá), (Ma - Macanché), (Si - Salpetén), (Sc - Sacnab), (Yx - Yaxhá), (Pt - Petenchel), (Qx - Quexil) y (Sy - Sacpuy). b (Bosque), p (Potrero) y c (Poblados). a (Primer muestreo) y b (Segundo Muestreo)

Por último se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico en el cual se observó que hay una diferenciación en la distribución de la vegetación acuática entre los diferentes usos de tierra, bosque, poblados y potreros (Figura 16).

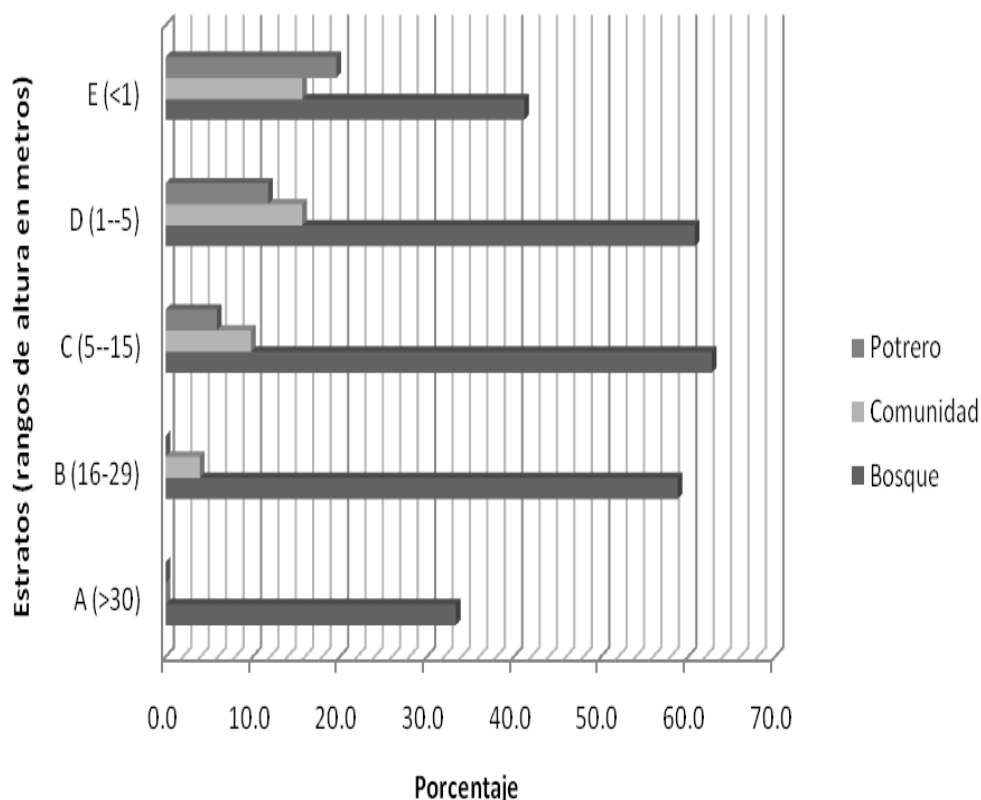


**Figura 16.** Análisis de Agrupamiento Jerárquico. Se incluyen todos los sitios muestreados durante junio y septiembre de 2009, en los Cuerpos de agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá. b (Bosque), p (Potrero) y c (Poblados).

## 6.6 Caracterización del hábitat

De acuerdo a los registros realizados sobre la vegetación presente en las riveras asociadas a las 50 unidades muestreadas en el total de cuerpos de agua en estudio y observándose que los principales usos de la tierra fueron bosque, potrero y comunidad humana. Del total de sitios 32 presentaron bosque, 8 presentaron comunidades humanas y 10 sitios presentaron potreros.

Se evaluaron 5 estratos. El estrato A el cual está conformado por árboles con alturas mayores de 30m, el estrato B el cual está conformado por árboles de 16 a 29m de altura, el estrato C conformado por vegetación con alturas entre 5 a 15m de altura, el estrato D conformado por vegetación con alturas entre 1 a 5m y finalmente el estrato E conformado por vegetación no mayor de 1m de altura (Figura 17).



**Figura 17.** Proporción de las unidades muestrales que presentan los diferentes estratos de un bosque tropical influenciados por el uso de la tierra.

Como se muestra en la figura 17, el 34% de los sitios muestreados los bosques presentaron el estrato A el cual está conformado por árboles con alturas mayores de 30m, en sitios con potrero y comunidades humanas no se encontraron árboles de esta altura. Los árboles maduros y espaciados característicos de este estrato estuvieron presentes en el 34% de los sitios con bosque, la capa de dosel era discontinua lateralmente en un 34% de los sitios con bosque y las copas de los árboles estaban raramente traslapadas en un 28% para el total de las unidades muestreadas.

El estrato B el cual está conformado por árboles de 16 a 29m de altura estuvo presente en el 59% de los sitios con bosque, las copas de los árboles se encontraban en contacto unas con otras en un 38% de los sitios, la capa del dosel era continua con espacios ocasionales en el 42% de los casos y se observaron individuos inmaduros de las especies del estrato A en el 26% de los sitios. El 4% de los sitios con comunidades humanas presentaron este estrato que estuvo ausente en los sitios con potrero.

El 63% de los sitios con bosque, junto con el 10% de los sitios con comunidad y el 6% de los sitios con potrero, presentaron el estrato C conformado por vegetación con alturas entre 5 a 15m de altura. Las copas de los árboles estuvieron en contacto unas con otras en el 44% de los casos de bosque, y únicamente un 2% de los sitios con comunidad y potrero. La capa del dosel era continua en el 43% de los sitios con bosque y en un 2% de los sitios con potrero. La vegetación en este estrato era más densa que en los demás estratos, en el 39% de los sitios con bosque y un 4% de los sitios con comunidad. Se observaron pocos espacios vacíos en el conjunto de copas en el 41% de los sitios con bosque y 2% de los sitios con comunidad. Se observó la presencia de lianas en el 28% de los sitios con bosque.

El estrato D conformado por vegetación con alturas entre 1 a 5m estuvo presente en el 60% de los sitios con bosque, 16% de los sitios con comunidades humanas y un 12% de los potreros. Este estrato presentó árboles jóvenes, palmas pequeñas, plantas grandes de tallos herbáceos, arbusto y plantas leñosas. La capa del dosel era continua en el 57% de los sitios con bosque, 14% de los sitios con comunidades humanas y 10% de los potreros. La capa de follaje era lateralmente discontinua en el 43% de los bosques, 10% de las comunidades humanas y 6% de los potreros.

El estrato E, conformado por vegetación no mayor de 1m de altura estuvo en el 41% de los sitios con bosque, en el 16% de las comunidades humanas y en el 20% de los potreros. Se observaron plantas herbáceas en el 41% de los bosques, 16% de las comunidades humanas y el 20% de los potreros. Se observó regeneración de lianas y árboles en el 28% de los bosques, 2% de las comunidades humanas y potreros. Las plantas se presentaron dispersas en el 31% de los bosques, en el 10% de las comunidades humanas y el 2% de los potreros. La capa de follaje era discontinua excepto en áreas abiertas con incidencia de abundante luz solar en el 34% de los bosques y el 12% de las comunidades humanas.

**Tabla 6.** Evaluación de la condición riparia en las unidades muestreadas según el uso de la tierra.

Condición Riparia		Uso de la tierra		
		%Bosques	%Comunidades	%Potreros
Potrero	Árboles emergentes	0	0	40
	Arbustos	0	0	60
	Pastizales	0	0	100
Zona Arqueológica	Explorada	25	0	0
	No explorada	0	0	10
Casas	Complejo desarrollado	0	100	0
	Complejo poco desarrollado	13	0	10
Carreteras	Terracería	38	88	30
	Asfalto	3	0	0
Pastizales	Inundados	16	25	80
	Secos	0	0	10
Factores externos	Ríos	0	0	0
	Otros Cuerpos de Agua	9	0	0
	Animales	85	88	80
	Quema y Tumba	6	0	10
	Árboles muertos	78	25	20
	Basura	13	100	30

Fuente: Datos de Campo, 2009.

De acuerdo a las observaciones realizadas mediante la evaluación de la condición riparia (Tabla 6) en las localidades estudiadas se encontró que las unidades con bosques asociados a las riveras no presentaron potreros cercanos, en un 25% de los casos existen sitios arqueológicos explorados, en un 13% de los casos existen complejos habitacionales poco desarrollados, la presencia de carreteras de terracería se detectó en un 38% de los sitios y en el 3% se encuentran carreteras asfaltadas cercanas. Los pastizales inundados están presentes en un 16% de los sitios, en un 9% hay cuerpos de agua cercanos, en un 85% de los sitios se observó la presencia de animales, en 6% de los sitios se detectaron indicios de tumba y quema de la vegetación, árboles muertos se observaron en el 78% de los sitios y en el 13% se observó contaminación con desechos sólidos.

Para los sitios con riveras donde se detectaron comunidades el 100% de las mismas presentaban complejos habitacionales desarrollados, en el 88% de los sitios se observaron carreteras de terracería, en el 25% de los sitios se observaron pastizales inundados, en el 88% de los sitios se documentó la presencia de animales, en el 25% de los sitios se observaron árboles muertos y en el 100% del total de sitios se detectó contaminación con desechos sólidos.

De los sitios con potreros en sus riveras un 40% presentaron árboles emergentes, un 60% de los sitios con arbustos y el 100% de los mismos poseían pastizales. El 10% de los sitios presentaron zonas arqueológicas no exploradas, el mismo porcentaje de sitios presentaron complejos habitacionales poco desarrollados. El 30 % de los sitios poseía carreteras de terracería, el 80% poseía pastizales inundados y el 10% pastizales secos. En el 80% de los casos se detectó la presencia de animales, el 10% presentó señales de tumba y quema de la vegetación, el 20% presentó árboles muertos y se observó contaminación con desechos sólidos en el 30% del total de sitios con potrero.

## 7. DISCUSIÓN

### ***7.1 Caracterización Fisicoquímica de los Cuerpos de Agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá.***

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 variación de la temperatura depende sobre todo de la radiación solar y de la temperatura del aire. Los valores promedio de pH indicaron que el medio se encuentra alcalino (Tabla2), 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). Los valores obtenidos de conductividad 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)

Los sólidos disueltos totales es el producto de partículas que se encuentran en la columna de agua, en algunos sitios donde la turbidez es alta, es debido a vertidos de aguas residuales 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. 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-.



## **7.2 Caracterización de la Vegetación de los Cuerpos de Agua la Región Maya Tikal –Yaxhá**

Podemos decir que la diversidad de la flora acuática estricta del área de estudio es alta, ya que se compone de 29 especies (Anexo 2). Morales (2001), reporta para el Parque Nacional Laguna del Tigre, humedales mas grandes de nuestro país, 40 especies. Este autor, hace una comparación con otros estudios de distintas regiones del país y el Parque Laguna del Tigre resulta como el más diverso en cuanto a flora acuática. Lundell (1937) reportó 28 acuáticas estrictas para la misma región de estudio.

Lot y novelo (1988), categorizan los humedales de Tabasco y Campeche, como la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamerica y reportan un total de 45 acuáticas estrictas para estos estados. Tomando en cuenta la mayor extensión territorial de aquella área, podemos decir que la diversidad de la zona central de Petén, es alta.

Se encontró que las especies de plantas acuáticas más frecuentes en todas las unidades muestreadas fueron *Cladium jamaicense*, seguida por *Eleocharis intersticta*, ambas especies emergente y *Hallodule baudetei* especie sumergida (Figura 8 y 9).

Los sitios con bosque en la rivera presentaron un promedio de 2 especies. Siendo las especies más importantes por su frecuencia de aparición *Cladium jamaicense*, *Mimosa pigra*, *Eleocharis intersticta*, *Hallodule baudetei* y *Utricularia gibba*. Los sitios con comunidades humanas presentaron un promedio de 3 especies. Siendo las especies más importantes por sus valores de frecuencias de aparición *Eleocharis intersticta*, *Potamogeton ilinoensis*, *Vallisneria americana* y *Najas guadalupensis*. Para los sitios con potrero presentó un promedio de 4 especies. Siendo las especies más importantes por sus valores de frecuencia de aparición *Eleocharis intersticta*, *Eleocharis cellulosa*, *Cladium jamaicense*, *Hallodule baudetei*, *Potamogeton ilinoensis* y *Typha dominguensis*.

Algunas especies son altamente vulnerables a la contaminación y a cambios drásticos en la hidrología de los humedales donde se desarrollan, es por esto que se les considera como elementos indicadores de la calidad de agua y de las condiciones de los ambientes acuáticos. Géneros como *Eichornia*, *Potamogeton* y *Vallisneria*, son indicadoras perturbaciones de calidad de agua, ya que su crecimiento se ve favorecido por la presencia de altas concentraciones de nutrientes, por consiguiente indican alto grado de eutrofización (Palma, 1986). En el análisis multivariado se puede observar que estas especies aparecieron en el eje relacionado a perturbación (Gráfica 12).

En el caso de los sitios donde la rivera tiene menores perturbaciones como en el caso de los bosques, la presencia de plantas acuáticas es menor en comparación con los sitios de potrero donde este uso de la tierra va enriqueciendo al cuerpo de agua con nutrientes provenientes de los desechos fecales del ganado vacuno. Dichos nutrientes permiten la proliferación de plantas acuáticas. Así mismo los sitios de potrero que han sido despojados de la vegetación nativa permiten la incidencia de luz solar que favorece el desarrollo de vegetación acuática (Peralta *et al.*, 2007) (Tabla 3).

En los sitios muestreados con riveras con presencia de comunidades humanas se encontró un valor mayor de promedio de especies en comparación con los sitios con bosque, en estos casos dichas comunidades también enriquecen con nutrientes los cuerpos de agua y su establecimiento creó zonas despojadas o con baja cobertura de vegetación riparia. De nuevo la mayor incidencia de luz solar y el enriquecimiento con nutrientes influencia directamente la composición y proliferación de plantas acuáticas (Tabla 3) (Palma, 1986; Peralta *et al.*, 2007).

En los lugares mejor conservados, tales como Yaxhá, Sacnab, Quexil, Petenchel, no reportan la presencia de especies acuáticas, ni invasoras, al contrario de sitios como Macanché, Salpetén, Petenchel, Lago Petén Itza, Sacnab, Sacpuy, Tikal y Zotz en donde la vegetación era más abundante.

Es importante mencionar que en Yaxhá y Sacnab el sustrato era rocoso, el agua era ligeramente turbia y con profundidades grandes, por lo que el establecimiento de plantas en el fondo se ve limitado por la ausencia de luz (Barko *et al.*, 1986), sin embargo en los otros sitios sustrato era de limo, con poca arena y rocas y con abundante materia orgánica, lo que favorece el desarrollo y el enraizamiento de las plantas acuáticas (Palma, 1986; Peralta *et al.*, 2007).

*Eichornia crassipes* es considerada una de las peores malezas acuáticas del mundo, así como *Pistia stratiotes*, *Potamogeton ilinoensis* y *Salvinia minima*, por su importancia económica ya que se gastan millones de quetzales para el control de estas especies (Acosta – Arce, 2006; Ramos *et al.*, 2004; Martin, *et al.*, 2003). Estas especies por su carácter de introducidas y/o malezas acuáticas pueden desplazar a otras hidrófitas nativas y por consiguiente cambiar y alterar la estructura y las condiciones naturales de los ambientes acuáticos representando pérdidas de diversidad biológica. Fueron pocos los sitios en donde se registraron estas especies, los registros fueron sobre todo en lugares donde hay presencia de poblaciones humanas, lo que indica que el estado de conservación de algunos de los cuerpos de agua de la región Maya Tikal - Yaxhá se podrían considerar en buen estado de conservación (Anexo 2).

La presencia de malezas acuáticas no implican necesariamente una eutrofización de las lagunas dado que la cobertura dentro de cada laguna exceptuando el Lago Petén Itzá fue baja, sin embargo, pueden estar evidenciando una alteración del ambiente (Peralta y Morero - Casasola, 2007).

La riqueza es muy heterogénea en los sitios de muestreo, ya que fluctúa entre 1 y 14 especies (Tabla 3 y 4), esto significa que a pesar de que los cuerpos de agua son de dimensiones pequeñas y que el esfuerzo de muestreo estuvo entre el 68 y 69 % de representatividad de la región, conjuntan un alto número de familias y especies (Figura 10 y 11).

Al analizar los resultados obtenidos en los análisis de agrupamiento jerárquico y de ordenación se observa que los cuerpos de agua estudiados presentan una agrupación en base al uso del suelo, como se esperaba. En las figuras 12, 13 y 16 se forman

grupos que presentan las mismas condiciones ambientales, agrupando a los sitios asociados a bosque en un lado y por otro lado a los sitios asociados a potreros y poblados. La diferencia en el promedio de especies para las diferentes unidades muestrales que fueron agrupadas por el uso de la tierra, responde a varias de las características de las localidades estudiadas mismas que a su vez responden a las condiciones que el uso de la tierra va implantando (Figura 12, 13 y 16).

Los análisis de agrupamiento jerárquico con todas las unidades muestrales agrupa a las unidades por sitios de muestreo, pero al mismo tiempo hay una agrupación en base al uso de la tierra (Figura 14 y 15).

Nuestros objetivos planteados proponen que las diferencias en el estado de conservación de los cuerpos de agua y la calidad de agua, provocan cambios en los patrones de distribución y diversidad de la vegetación acuática. Los resultados obtenidos en todo el estudio y los análisis realizados, reflejan que la perturbación incrementa diversidad de especies en aquellos cuerpos de agua en cuyos alrededores se realizan actividades ganaderas o humanas. Sin embargo el cambio del uso de la tierra aún no ha tenido un impacto tan grande sobre calidad del agua en los cuerpos de agua estudiados, ya que la calidad física del hábitat de las lagunas y el lago no se encuentran medianamente o altamente impactadas, sino que se encuentran en un estado bastante cercano al óptimo.

### ***7.3 Caracterización del hábitat***

Respecto a la caracterización de las riveras de lagunas evaluadas asociadas a las parcelas de vegetación acuática, el mayor número de sitios seleccionados presento el tratamiento bosque (32) en comparación con los sitios con comunidades humanas (8) y potreros (11). La cantidad de sitios según el tratamiento presente está influenciada por la selección previa de las unidades que en general para la mayoría de los cuerpos de agua se observó este patrón de presencia de tratamientos en las riveras de los mismos.

Del total de los sitios con bosque que fueron evaluados el 30% de estos presentaron todos los estratos definidos por rangos de altura que caracterizan la complejidad estructural de los bosques tropicales según Richards (1996). Las localidades donde se observó la presencia de bosque fueron Cantil (B2) y San Andrés (B1) en el Lago Petén Itzá, en las Lagunas Quexil, Petenchel, Macanche, Salpetén, Yaxhá y Sacnab.

La composición florística ribereña para los sitios con bosque presentó las siguientes especies más importantes por su frecuencia de aparición a *Cladium jamaicense*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma bahamensis*, *Acacia cookii*, *Cecropia peltata*, *Metopium brownei*, *Bursera simaruba*, *Vitis tiliifolia*, *Ipomea indica*, *Ficus obtusifolia*, *Pachira acuatica*, *Spondias mombin* y *Bucida buceras*.

En las riveras donde se observó la presencia de poblaciones humanas el estrato A (>30m de altura) nunca estuvo presente, los estratos que se presentaron en este tratamiento fueron según los rangos de altura el estrato B, C, D y E en orden ascendente de porcentaje, presentando porcentajes bajos menores del 20%. Como se puede observar los estratos con individuos de mayor talla han sido disminuidos estando esto determinado por la perturbación humana y la eliminación de cobertura boscosa para el establecimiento de zonas humanas. Las poblaciones humanas evaluadas fueron San Benito (C1) y San Andrés (C2) en el Lago Petén Itzá, la comunidad de Sacpuy en la laguna Sacpuy y la comunidad presente en la laguna Macanche.

La composición florística ribereña para los sitios con poblaciones humanas presentó las siguientes especies como las más importantes por sus frecuencias de aparición a *Bucida buceras*, *Cassia alata*, *Cedrela odorata*, *Cladium jamaicense*, *Eleocharis intersticta*, *Ipomea indica*, *Piscidia piscipula*, *Talisia sp.*, *Thypha dominguensis*.

En las riveras donde se observó la presencia de potreros los estratos A y B estuvieron presentes en proporciones muy bajas en el total de sitios muestreados. Los estratos C, D y E estuvieron presentes en el total de estos sitios en orden ascendente de porcentaje de aparición. Según estas observaciones se puede inferir que la cobertura vegetal de los estratos con individuos de mayor tamaño fueron eliminados transformando estas áreas en zonas abiertas para permitir su utilización para la crianza de ganado vacuno. Los sitios evaluados con este uso de la tierra fueron La Chingada (P1) y El Avión (P2) en el Lago Petén Itzá y potreros presentes en las lagunas Sacpuy, Macanché y Salpetén.

La composición florística ribereña para los sitios con potrero presentó las siguientes especies como las más importantes por sus frecuencias de aparición a *Cladium jamaicense*, *Eleocharis intersticta*, *Eleocharis cellulosa*, *Lippia stocadifolia* y *Thypha dominguensis*.

De la condición riparia podemos inferir que los bosques existentes en los cuerpos de agua permiten que las áreas mantengan sus condiciones naturales evitando la proliferación de pastos y malezas introducidas o dispersadas por humanos que en general son especies de alto éxito reproductivo y competitivo. Esto a su vez permite el bajo establecimiento de plantas acuáticas debido a la baja incidencia de luz solar que crea la cobertura boscosa como se mencionó anteriormente (Peralta *et al.*, 2007). Los sitios con potreros en cambio son sitios conformados por árboles emergentes en su mayoría escasos, pastizales y arbustos que en la mayoría de los casos son áreas bajas que suelen inundarse con frecuencia. Los sitios con comunidades humanas son por lo general áreas despojadas de vegetación en todo caso baja cobertura vegetal y zonas bajas donde se establecen plantas acuáticas en mediana proporción en comparación con los otros tipos de uso de la tierra.

Las zonas arqueológicas presentes en algunas de las localidades de estudio y las actividades humanas que por consiguiente se realizan en estos sitios parecen no ser determinantes para la vegetación acuática en cuanto a su composición. En el caso de los complejos habitacionales y las carreteras en las comunidades hay una relación directa con la contaminación de las riveras y cuerpos de agua con desechos sólidos.

Respecto a la presencia de animales en los sitios estudiados existen valores similares de porcentaje de unidades que los presentaron. El mayor valor encontrado fue para las comunidades, sin embargo este valor corresponde a la presencia de fauna asociada a humanos, como los caballos, vacas y patos de granja. Para los sitios con potreros el valor observado está constituido en su totalidad por el ganado vacuno. A diferencia de los sitios con bosque donde se observó la presencia de avifauna silvestre y rastros de los mismos como nidos y percheros, así mismos serpientes y cocodrilos.

Las actividades perturbadoras como la tumba y quema de la vegetación se observó en los sitios con potrero, aunque también estuvo presente en sitios con bosques donde también se observó alta presencia de árboles muertos sumergidos en el agua.

## 8. CONCLUSIONES

- Se encontró que las especies de plantas acuáticas más frecuentes en todas las unidades muestreadas fueron *Cladium jamaicense*, seguida por *Eleocharis intersticta*, ambas especies emergente y *Halodule baudetei* especie sumergida
- Especies como *Eleocharis intersticta*, *Najas guadalupensis*, *Vallisneria americana*, *Potamogeton illinoensis*, *Eichhornia crassipes*, entre otros, son especies de amplia distribución y amplia tolerancias a condiciones extremas. Estas especies se presentaron en el Lago Petén Itzá, Macanché, Salpetén y Sacpuy, que están más influenciados por la acción humana y por lo tanto se desarrollan bajo condiciones de mayor perturbación, y si continúan estas tendencias es posible que algunos cuerpos de agua se deteriores de manera irreversible, y sobre todo que se pierdan recursos bióticos que son de gran importancia para el humano.
- Los valores fisicoquímicos que se registran en todos las lagunas tienen en general un rango permisible para la vida acuática. Se registraron algunos valores altos y bajos dentro de un mismo cuerpo de agua, esto por actividades naturales producto de la descomposición de la materia orgánica y actividad fotosintética.
- La composición y abundancia de las plantas acuáticas puede ser utilizada como un indicador del estado de conservación de los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal – Yaxhá.
- Especies como *Eleocharis intersticta*, *Najas guadalupensis*, *Vallisneria americana*, *Potamogeton illinoensis*, *Eichhornia crassipes*, entre otros, son especies de amplia distribución y amplia tolerancias a condiciones extremas. Estas especies están influenciados por la acción humana y por lo tanto se desarrollan bajo condiciones de mayor perturbación, y si continúan estas tendencias es posible que algunos cuerpos de agua se deteriores de manera irreversible, y sobre todo que se pierdan recursos bióticos que son de gran importancia para el humano.
- En general las plantas acuáticas muestran una distribución regular que se puede relacionar con los cambios del uso de la tierra, profundidad, corriente, contaminación y conservación, es por eso que las plantas son indicadoras en ambientes acuáticas.

## 9. RECOMENDACIONES

- ⊕ En lugares como el Lago Petén Itzá, Macanché, Salpetén y Sacpuy se recomienda implementar un manejo integral, interdisciplinario y sostenible para el manejo de malezas acuáticas para que no alteren el ecosistema acuático y perjudiquen al humano.
- ⊕ Se recomienda que en lagunas con baja perturbación como Quexil, Petenchel, Yaxhá y Sacnab se mantengan las condiciones ambientales de la mejor forma para no tener problemas con malezas acuáticas en el futuro.
- ⊕ Considerar en estudios posteriores otros indicadores de eutrofización tales como metales pesados, macroinvertebrados, análisis bacteriológicos o determinación de fitoplancton para establecer medidas que permitan comprender e interpretar mejor la situación actual.
- ⊕ Establecer un programa de monitoreo permanente de la calidad del agua en las lagunas de la Región Maya Tikal - Yaxhá, 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.
- ⊕ Se recomienda un manejo adecuado y control de malezas acuáticas para reducir o evitar el deterioro de los cuerpos de agua. La selección de la estrategia debe ser la más apropiada y debe ser la mejor en relación al beneficio / costo.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. **Acosta - Arce**, L. y **Agüero - Alvarado**, R., 2006. Malezas Acuáticas como componentes del Ecosistema. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2): 213 – 219.
2. **APHA**, AWWAA, WPCF. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. American Public Health Association, Washington, DC. 1193pp.
3. **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
4. **Barko**, J. W., **Adams**, M. S. and **Clesceri**, N. S. 1986. Environmental factor and their consideration in the Management of submersed aquatic vegetation: a review. *Journal of Aquatic Plant Management*. 21: 1-10.
5. **Castillo**, M. 2001 Caracterización de Avifauna asociada a los sistemas acuáticos del Parque Nacional Laguna de Tigre, Petén, Guatemala. Escuela de Biología, Facultad de Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Tesis de Licenciatura.
6. **Ceska**, A. y **Ceska**, O. 1986. More on the techniques for collecting aquatic and marsh plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. Vol. 73, No. 4. Pp. 825 - 827.
7. **De la Cruz**, J. R. 1982. Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala a Nivel de Reconocimiento. Guatemala: MAGA, 42 pp.
8. **Environmental Protection Agency**, EPA. 1986. *Gold Book of Quality Criteria for Water*. EPA 440/5-86-001. USA. Pág. 477.
9. **Legendre**, P. y **Legendre**, L. 1998. *Numerical Ecology*. 2ª Editions. Elsevier Science B.V. Netherlands. 853p.
10. **León**, B. and **J. Morales Can**. 2,000. The aquatic macrophyte communities of Laguna del Tigre National Park, Petén, Guatemala. In: *A Biological Assessment of Laguna del Tigre National Park, Petén Guatemala*. Bestelmeyer, B. and L. Alonso (Eds.), 221pp.

11. **Lot, H. A y A., Novelo.** 1988. El Pantano de Tabasco y Campeche la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica. En: Ecología de los Ríos Usumacinta y Grijalva. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos – División Regional Tabasco, 720 pp.
12. **Lundell, C. L.** 1937. The Vegetation of Petén. Studies of Mexican and Central American Plants I. Carnegie Institution of Washigton. 245 pp.
13. **Magurran, A.** 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing. Printes United Kingdom. 256p.
14. **James, F. y McCulloch, C.** 1990. Multivariate Analysis in Ecology and Systematics: Panacea or Pandora's Box. Annu. Rev. Ecol. Syst. Vol 21, USA. Pp. 129 -166
15. **McGarigal, K., Cushman, S. Y Stafford, S.** 2000. Multivariate Statistics for wildlife and Ecology Research. Ed. Springer. Págs. 281
16. **Margalef, R.** 1983 Limnología. Ediciones Omega. Barcelona.
17. **Martin, M.** 2003. The Aquatic Plants of the Chateaugay Lakes: Inventory & Management. Cedar Eden Environmental, LLC. USA. Pp. 17.
18. **Morales, J.**2001. Vegetación Acuática del Parque Nacional Laguna del Tigre. Escuela de Biología, Facultad de Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, Tesis de Licenciatura.
19. **Morales, J y M. Flores.** 2001. Vegetación de los Cenotes del Área Macabilero, Parque Nacional Sierra de Lacandón, Peten, Guatemala. Fundación Defensores de la Naturaleza. Informe técnico.
20. **Palma, C., San Martín, C., Rosales, M., Ramírez, C. y Zúñiga, L.** 1986. Distribución espacial de la flora y vegetación acuática y palustre del Estero Margamarga en Chile Central. Chile. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

21. **Peralta - Peláez**, L. y Moreno - Casasola, P. 2007. Influencia de la actividad ganadera en la estructura y diversidad de la vegetación de lagos interdunarios en la zona central de Veracruz en el golfo de México. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. México. Pag. 63 - 93.
22. **Peralta - Peláez**, L., Moreno - Casasola P. y Warner, B. 2007. Caracterización fisicoquímica e impacto agropecuario en los lago interdunarios de la Costa Central de Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. México. Pags. 36 - 63.
23. **Pérez**, E. 1997. Estrategia de Conservación de la Guacamaya roja (*Ara macao*), en Guatemala. Informe final de Ejercicio Profesional Supervisado-EPS-Estación biológica "Las Guacamayas". Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 95pp
24. **Roldan**, G. 1992 Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.
25. **Ramos**, F. Quiroz, A. Ramírez, J y Lot, A. 2004 Manual de Hidrobotánica. Muestreo y análisis de la vegetación acuática. Editorial AGT S. A. México.
26. **Reyes**, E. 2004. Vegetación Asociada a las Aguadas del Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala. Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad-EDC-. Facultad de Ciencia Químicas y Farmacia. USAC.
27. **Richards**, P.W. (1996). *The Tropical Rain Forest an Ecological Study*. Second edition. United Kingdom: Cambridge University Press. Page. 27-46.
28. **Schulze**, M and D. Whitacre. 1999. A Classification and Ordination of the Tree Community of Tikal National Park, Petén, Guatemala. Bulletin of the Florida Museum of Natural History. Vol 41(3) pp. 169-297. University of Florida, Gainesville.

## 11. ANEXOS

**Anexo 1.** Listado General de Especies del hábitat Acuático y Ripario de los cuerpos de agua de la Región Maya Tikal - Yaxhá. A (Acuática) y R (Riparia)

Familia	Especie	Hábitat	
		A	R
Agavaceae	<i>Agave sp.</i>		x
	<i>Yucca guatemalensis</i> Baker		x
Amaranthaceae	<i>Iresine herbstii</i> Hook		x
Amarilidaceae	<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb.		x
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.		x
	<i>Mangifera indica</i> L.		x
	<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urb.		x
	<i>Spondias mombin</i> L.		x
Annonaceae	<i>Annona lutescens</i> Saff.		x
	<i>Malmea depressa</i> (Baill.) R.E. Fr.		x
Apocinaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.		x
	<i>Stemmadenia pubescens</i> Benth.		x
	<i>Aspidosperma sp.</i>		x
	<i>Pentalinon andrieuxii</i> (Müll. Arg.) B.F. Hansen & Wunderlin		x
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i> L.	x	
	<i>Anturium sp.</i>		x
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.		x
Arecaceae	<i>Chamaedorea elegans</i> Mart.		x
	<i>Cocos nucifera</i> L.		x
	<i>Desmoncus orthacanthos</i> Mart.		x
	<i>Orbignya cohune</i> (Mart.) Dahlgren ex Standl.		x
	<i>Sabal sp.</i>		x
Asclepiadaceae	<i>Asclepia curasavica</i> L.		x
	<i>Sarcostemma sp.</i>		x
Asteraceae	<i>Melanthera nivea</i> (L.) Small		x
	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) Cass.		x
	<i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitchc.		x
Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i> Kunth.		x
	<i>Parmentiera aculeata</i> (Kunth) Seem.		x
	<i>Tabebuia pentaphylla</i> (L.) Hemsl.		x
Bombacaceae	<i>Bombax ellipticum</i> Kunth		x
	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.		x

Familia	Especie	Hábitat	
		A	R
Bombacaceae	<i>Hampea trilobata</i> Standl.		x
	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.		x
Boraginaceae	<i>Cordia sebestena</i> L.		x
Bromeliaceae	<i>Aechmea bracteata</i> (Sw.) Griseb.		x
	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.		x
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.		x
	<i>Protium copal</i> (Schltdl. & Cham.) Engl.		x
Cabombaceae	<i>Cabomba palaeformis</i> Fassett	x	
Cactaceae	<i>Selenicereus donkelaarii</i> (Salm-Dyck) Br		x
	<i>Selenicereus grandiflorus</i> (L.) Britton & Rose		x
Caesalpiniaceae	<i>Caesalpinia mollis</i> (Kunth) Spreng.		x
	<i>Cassia alata</i> L.		x
	<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.		x
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.		x
Cecropiaceae	<i>Cecropia peltata</i> L.		x
	<i>Coussapoa oligocephala</i> Donn. Sm.		x
Charophyceae	<i>Chara</i> sp.	x	
Clusiaceae	<i>Clusia</i> sp.		x
Combretaceae	<i>Bucida buceras</i> L.		x
	<i>Terminalia catappa</i> L.		x
Comellinaceae	<i>Comellina</i> sp.		x
Convolvulaceae	<i>Ipomoea indica</i> (Burm.) Merr.		x
Costaceae	<i>Costus</i> sp.		x
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita lundelliana</i> L. H. Bailey		x
Cyperaceae	<i>Cladium jamaicense</i> Crantz	x	x
	<i>Eleocharis cellulosa</i> Torr.	x	x
	<i>Eleocharis intersticta</i> (Vahl) Roem. & Schult.	x	x
	<i>Oxyxaryum cubense</i> (Poepp)	x	x
	<i>Cyperus lundellii</i> O'Neill		x
	<i>Fuirena simplex</i> Vahl		x
Dioscoriaceae	<i>Dioscorea</i> sp.		x
Ebenaceae	<i>Diospyros salicifolia</i> Humb. & Bonpl. Ex Willd.		x
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i> (Mill.) I. M. Joh		x
	<i>Gymnanthes lucida</i> Saw.		x
Fabaceae	<i>Dalbergia glabra</i> (Mill.) Standl.	x	x
	<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	x	x
	<i>Erythrina herbacea</i> L.		x
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.		x

Familia	Especie	Hábitat	
		A	R
Fabaceae	<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.		x
	<i>Lonchocarpus hondurensis</i> Benth.		x
	<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.		x
	<i>Swartzia cubensis</i> (Britton & P. Wilson) Standl.		x
	<i>Vatairea lundelli</i> (Standl.) Killip ex Record		x
Flacortiaceae	<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp		x
Hydrocharitaceae	<i>Vallisneria americana</i> Michx.	x	x
Lamiaceae	<i>Teucrium vesicarium</i> Mill.		x
Lauraceae	<i>Cassytha filiformis</i> L.	x	x
Lentibulariaceae	<i>Utricularia gibba</i> L.	x	
Loranthaceae	<i>Struthanthus cassythoides</i> Millsp. ex Standl		x
Malpigiaceae	<i>Bunchosia dwyeri</i> Cuatrec. & Cront, Ann.		x
Melastomataceae	<i>Micania</i> sp.		x
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.		x
	<i>Swietenia macrophylla</i> King		x
	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.		x
Mimosaceae	<i>Mimosa pigra</i> L.	x	
	<i>Acacia cookii</i> Saff.		x
	<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.		x
	<i>Lysiloma bahamense</i> Benth.		x
	<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.		x
	<i>Mimosa pigra</i> L.		x
Moraceae	<i>Pithecolobium arboreum</i> (L.) Urban, Symb.		x
	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.		x
	<i>Dorstenia</i> sp.		x
Moraceae	<i>Ficus elástica</i> Roxb.		x
	<i>Ficus insipida</i> Willd.		x
Musaceae	<i>Ficus obtusifolia</i> Kunth		x
	<i>Musa paradisiaca</i> L.		x
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp		x
	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.		x
Najadaceae	<i>Najas guadalupensis</i> (Spreng) Magnus	x	x
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea ampla</i> (Salisb.) DC.	x	x
Oleocarpaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.		x
Onagraceae	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P. H. Raven		x
Orchidaceae	<i>Bletia purpurea</i> (Lam) DC.		x
Orchidaceae	<i>Chysis bractescens</i> Lindl.		x
Passifloraceae	<i>Passiflora</i> sp.	x	

Familia	Especie	Hábitat	
		A	R
Piperaceae	<i>Piper auritum</i> Kunth		x
	<i>Piper psilorhachis</i> C. DC.		x
	<i>Piper yucatanensis</i> C.DC.		x
Poaceae	<i>Andropogon glomeratus</i> (Walter) Stearn , Britton & Poggenb.	x	x
	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	x	x
	<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.		x
Polypodiaceae	<i>Polypodium palmeri</i> Maxon		x
Pontederiaceae	<i>Pontederia cordata</i> L.	x	
	<i>Eichornia crassipes</i> (Mart.) Solms.	x	x
Potamogetonaceae	<i>Halodule beaudettei</i> (Hartog) Hartog	x	x
	<i>Potamogeton illinoensis</i> Morong	x	x
	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	x	x
Pteridaceae	<i>Adiantum tenerum</i> Sw.		x
	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn		x
Rubiaceae	<i>Alseis yucatanensis</i> Standl.		x
Sapindaceae	<i>Allophylus cominia</i> (L.) Swartz, Prodr.		x
	<i>Talisia</i> sp.		x
	<i>Chrysophyllum cainito</i> A. DC.		x
	<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq.		x
	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen		x
	<i>Pouteria campechana</i> (Kunth) Baehni		x
	<i>Anemia adiantifolia</i> (L.) Sw.		x
	<i>Alvaradoa amorphoides</i> Liebm.		x
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.		x
Solanaceae	<i>Solanum blodgettii</i> Chapm.		x
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.		x
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	x	x
Verbenaceae	<i>Lippia stoechadifolia</i> (L.) Kunth	x	x
	<i>Cerathophyllum</i> sp.	x	
	<i>Lantana cámara</i> L.		x
	<i>Phyla stoechadifolia</i> (L.) Small		x
	<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.		x
Vitaceae	<i>Vitis tiliifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Roem. & Schult.		x

**Anexo 2.** Presencia - ausencia de las especies registradas en los sitios de muestreo.

<b>Especie</b>	<b>LPI</b>	<b>Say</b>	<b>Pet</b>	<b>Que</b>	<b>Mac</b>	<b>Sal</b>	<b>Sac</b>	<b>Yax</b>
<i>Acacia cookii</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Adiantum tenerum</i>	*				*			
<i>Aechmea bracteata</i>	*		*	*				
<i>Allophyllus cominia</i>			*		*			
<i>Alvaradoa amorphoides</i>	*					*		
<i>Andropogon glomeratus</i>	*							*
<i>Anemia adiantifolia</i>	*							*
<i>Annona lutescens</i>	*	*		*	*			
<i>Asclepia curasavica</i>	*					*	*	
<i>Astronium graveolens</i>	*					*		
<i>Bletia purpurea</i>	*		*					*
<i>Bombax ellipticum</i>	*				*			*
<i>Brosimum alicastrum</i>	*	*		*		*	*	
<i>Bucida buceras</i>	*	*	*	*			*	*
<i>Bunchosia dwyeri</i>		*				*		
<i>Bursera simaruba</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cabomba palaeformis</i>	*							
<i>Caesalpinia mollis</i>		*	*	*				
<i>Carica papaya</i>	*					*		
<i>Cassia alata</i>	*	*		*		*		*
<i>Cassytha filiformis</i>			*					*
<i>Causopoa oligocephala</i>						*		
<i>Cecropia peltata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cedrela odorata</i>	*	*		*	*	*	*	*
<i>Ceiba pentandra</i>	*	*	*	*	*	*		
<i>Cerathophyllum</i>	*							
<i>Chamaedorea elegans</i>				*	*			
<i>Chara sp.</i>	*		*	*	*	*	*	*
<i>Chisis bractescens</i>		*		*	*			
<i>Chrysophyllum argenteum</i>				*	*			
<i>Chrysophyllum caimito</i>		*						



Espece	LPI	Say	Pet	Que	Mac	Sal	Sac	Yax
<i>Cladium jamaicensis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Clusia sp.</i>	*							
<i>Cnidosculus aconitifolius</i>	*	*			*		*	
<i>Cocos nucifera</i>	*				*	*		
<i>Cordia sebestena</i>	*	*			*			
<i>Coussapoa alogocephala</i>						*		
<i>Crescentia alata</i>		*		*				
<i>Cucurbita lundelliana</i>	*	*	*		*		*	*
<i>Cyperus lundelli</i>	*				*	*	*	
<i>Dalbergia glabra</i>	*	*	*	*		*	*	
<i>Delonix regia</i>	*							
<i>Dendropanax arboreus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Desmoncus orthacanthus</i>					*			
<i>Dioscorea sp.</i>	*	*	*	*	*			*
<i>Diospyros salicifolia</i>		*						
<i>Dorstenia sp.</i>						*		
<i>Eichhornia crassipes</i>	*		*					
<i>Eleocharis celulosa</i>	*		*		*	*	*	*
<i>Eleocharis intersticta</i>	*	*		*	*	*	*	
<i>Ficus elastica</i>					*			
<i>Ficus incipida</i>			*		*	*	*	*
<i>Ficus obtusifolia</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Fuirena simplex</i>						*		
<i>Guazuma ulmifolia</i>			*		*			
<i>Gymnanthes lucida</i>	*	*		*		*		
<i>Haematoxylum campechianum</i>		*					*	*
<i>Halodule beaudettei</i>	*				*	*		
<i>Hampea trilobata</i>	*	*	*	*	*	*		
<i>Lantana camara</i>	*					*		
<i>Lisyloma latisiliquum</i>	*	*			*	*		
<i>Lysiloma bahamensis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Malmea depressa</i>					*			
<i>Manguifera indica</i>		*		*	*			
<i>Manilkara zapota</i>	*	*	*	*			*	

Espece	LPI	Say	Pet	Que	Mac	Sal	Sac	Yax
<i>Melanthera nivea</i>					*		*	*
<i>Metopium brownei</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Micania sp.</i>			*					
<i>Micrograma nitida</i>	*	*	*	*			*	
<i>Mimosa pigra</i>	*	*		*			*	*
<i>Muntingia calabura</i>	*				*	*		*
<i>Najas guadalupensis</i>	*	*		*	*		*	*
<i>Neurolaena lobata</i>						*		
<i>Nymphaea ampla</i>	*				*			
<i>Oxycarium cubensis</i>	*							
<i>Pachira acuatica</i>		*	*	**				
<i>Parmentiera aculeata</i>					*			
<i>Paspalum vaginatum</i>						*		
<i>Pentalinon andrieuxii</i>			*					
<i>Phitecelobium arboreum</i>					*			
<i>Phragmites australis</i>	*							
<i>Phyla stoechadifolia</i>			*			*	*	*
<i>Pimienta dioica</i>	*				*			
<i>Piper auritum</i>	*		*					*
<i>Piper piciloraquis</i>						*		
<i>Piper yucatanensis</i>						*		
<i>Piscidia piscipula</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pistia stratiotes</i>	*							*
<i>Plumeria rubra</i>	*				*			
<i>Pontederia cordata</i>		*						
<i>Potamogeton ilinoensis</i>	*							
<i>Potamogeton pectinatus</i>	*		*		*		*	*
<i>Pouteria campechana</i>		*						
<i>Protium copal</i>		*			*		*	
<i>Psidium guajaba</i>	*				*			
<i>Pteridium aquilinum</i>						*		
<i>Selenicereus donkelari</i>				*	*			
<i>Selenicereus grandiflorus</i>	*		*	*				
<i>Simaruba glauca</i>		*	*	*	*			

Especie	LPI	Say	Pet	Que	Mac	Sal	Sac	Yax
<i>Solanum blodgettii</i>							*	
<i>Spondias mombin</i>	*	*		*	*	*	*	*
<i>Stemadenia ovovata</i>		*		*	*			
<i>Strutantus cassythoides</i>	*		*	*	*		*	
<i>Swartzia cubensis</i>				*				
<i>Switenia macrophylla</i>							*	
<i>Tabebuia pentaphylla</i>		*		*				
<i>Terminalia catapa</i>	*		*		*			
<i>Teucrium vesicarium</i>			*					
<i>Tillandsia usneioides</i>				*			*	
<i>Trichillia havanensis</i>	*				*			
<i>Typha domingensis</i>	*	*		*	*	*	*	
<i>Utricularia gibba</i>	*		*	*				
<i>Vallisneria americana</i>	*		*				*	
<i>Vatairea lundellii</i>					*			
<i>Vitex gaumerii</i>	*	*		*	*	*		
<i>Vitis tiliifolia</i>	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Wedelia trilobata</i>	*	*			*	*		
<i>Yucca guatemalensis</i>					*			
<i>Zuelania guidonia</i>		*		*		*	*	

Fuente: Datos de campo 2009.

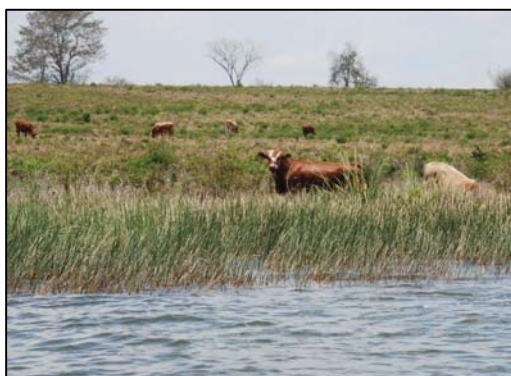
(LPI - Lago Petén Itzá), (Say - Sacpuy). (Pet - Petenche), (Que - Quexil),  
(Mac - Macanché), (Sal - Salpetén), (Sac - Sacnab), (Yax - Yaxhá),

**Anexo 3.** Fotografías de cada tratamiento evaluado en cada cuerpo de agua de la Región Maya Tikal –Yaxhá.

**Bosques**



**Potrerros**



**Poblados**





**Anexo 4.** Registro fotográfico de vegetación acuática de los Cuerpos de agua de la Región Maya Tikal –Yaxhá.

*Vallisneria americana* Michx.



*Typha domingensis* Pers



*Cladium jamaicense* Crantz



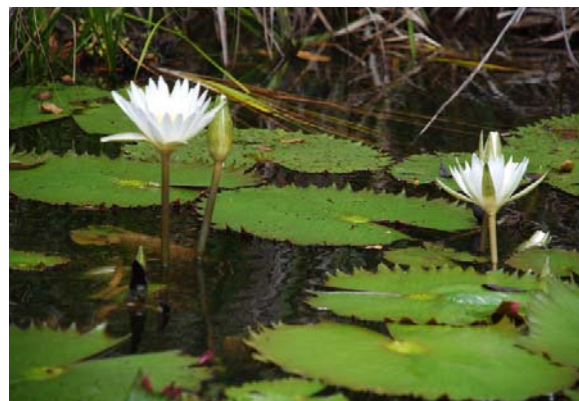
*Mimosa pigra* L.



*Ludwigia octovalvis* (Jacq.) p. H. Raven



*Nymphaea ampla* (Salisb.) DC.



## Anexo 5. 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. \_\_\_\_\_  $\mu\text{S}/\text{cm}$   
 O<sub>2</sub> \_\_\_\_\_ 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

#### Predominant Surrounding Land use

Forest  Commercial  
 Pasture  Industrial  
 Agricultural  Other  
 Residential

#### Local Watershed Pollution

No evidence  
 Some potential sources  
 Obvious sources

#### Odor

Normal  Sewage  Petroleum  
 Chemical  Anaerobic  None

#### Oils

Absent  Slight  Moderate  Profuse

#### Deposit

Sludge  
 Relict Shells  
 Sand  
 Other \_\_\_\_\_

### SEDIMENT/SUSTRATE

### RIPARIAN VEGETATION

Trees  Shrubs  Grasses  Herbaceous  
 Dominant species Present \_\_\_\_\_

### AQUATIC VEGETATION

Rooted emergent  Rooted floating  Free floating  Floating algae  Attached algae  
 Dominant species present \_\_\_\_\_



Estrato Presente		Estrato	Alturas (m)	Descripción	Presente	
SI	NO				SI	NO
		A	>30	Árboles maduros y espaciados		
				Capa lateralmente discontinua		
				Raramente copas traslapadas		
		B	16-29	Copas de los árboles en contacto unas con otras		
				Capa lateral continua con espacios ocasionales		
				Individuos inmaduros de las especies del estrato A		
		C	5-15	Copas de los árboles se traslapan unas con otras		
				Capa lateralmente continua		
				Vegetación más densa, el follaje es mayor que en cualquier otro nivel		
				Pocos espacios vacíos en el conjunto de copas		
		D	1-5	Consiste en: árboles jóvenes, palmas pequeñas, plantas grandes de tallos herbáceos, helechos arborescentes, arbustos y plantas leñosas		
				Capa lateralmente discontinua		
				Plantas herbáceas (monocotiledóneas, dicotiledóneas, helechos y <i>Selaginella</i> )		
		E	< 1	Regeneraciones de lianas y árboles		
				Plantas dispersas		
				Capa discontinua excepto en áreas abiertas donde incide abundante luz solar		

Clase	Estrato	Presente (S/N)	Observaciones
Potrero	Árboles emergentes		
	Arbustos		
	Pastizales		
Zona arqueológica	Explorada		
	No explorada		
Casas	Complejo desarrollado		
	Complejo poco desarrollado		
Carreteras o caminos	Terracería		
	Asfalto		
Pastizales	Inundados		
	Secos		
Tipo de Vegetación	Guamil		
	Bosque secundario		
	Bosque primario		
	Hierbas <2m altura		

Fenómeno observado	Presente (P)
Ríos	
Otros cuerpos de agua cercanos	
Animales (cuales)	
Rastros de animales	
Quema	
Tumba	
Árboles muertos	
Basura	
Otro tipo de impacto	