

**Informe final\* del Proyecto Q026**  
**Fragmentación de hábitats y evaluación de la biodiversidad en la región Los Petenes,**  
**Campeche**

**Responsable:** Dr. Jean Francois Mas Causse  
**Institución:** Universidad Autónoma de Campeche  
Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México  
**Dirección:** Apartado Postal 520, Campeche, Cam, 24030 , México  
**Correo electrónico:** [jeanfmas@epomex.uacam.mx](mailto:jeanfmas@epomex.uacam.mx)  
**Teléfono/Fax:** Tel: (981)1 1600 Fax: (981)6 5954  
**Fecha de inicio:** Abril 30, 1998  
**Fecha de término:** Febrero 1, 2001  
**Principales resultados:** Base de datos, Cartografía, Informe final  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Mas Causse, J. F. 2001. Fragmentación de hábitats y evaluación de la biodiversidad en la región Los Petenes, Campeche. Universidad Autónoma de Campeche. Centro de Ecología Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. Q026.** México D. F.

**Resumen:**

Los bosques tropicales sufren rápidos procesos de deforestación y de fragmentación que tienen como una de sus consecuencias la desaparición de numerosas especies vegetales y animales. El creciente interés por esta pérdida de diversidad biológica llevó al desarrollo de herramientas de análisis de los ecosistemas a nivel del paisaje. La ecología del paisaje considera que los procesos ecológicos afecta y están afectados por las interacciones entre los diferentes ecosistemas que componen un paisaje y se enfoca en el estudio de los patrones del paisaje, las interacciones entre los diferentes parches así como los cambios de estos patrones e interacciones. La comprensión de las relaciones entre la fragmentación y la pérdida de biodiversidad es un elemento fundamental para el manejo de las áreas protegidas ya que muchas veces la conservación de los biotas regionales depende enteramente de las áreas remanentes de vegetación nativa.

En el área protegida de "Los Petenes" en el estado de Campeche, la vegetación forestal se distribuye en islas asociadas a un afloramiento de agua dulce. Estos islotes de vegetación, llamados petenes, constituyen un paisaje casi único en el mundo que tiene la particularidad de ser naturalmente fragmentado: son parches de selva o manglar rodeados por una matriz de vegetación herbácea (tular), de manglar disperso o de selva estructuralmente más baja. Estas islas de vegetación presentan una gran variedad en cuanto al tamaño, a la forma y al grado de aislamiento. La región presenta además una gran biodiversidad, en particular de aves y constituye, por lo tanto, un excelente laboratorio natural para desarrollar estudios sobre el impacto de la estructura y de la fragmentación del paisaje en la biodiversidad así como para poner a prueba hipótesis relacionadas con la teoría de biogeografía de las islas de MacArthur y Wilson. Este proyecto se propone estudiar cómo la fragmentación del paisaje influye sobre la biodiversidad de aves de bosque en el área protegida. El estudio se apoyará en un muestreo intensivo de avifauna basado en el método de la búsqueda intensiva así como en una caracterización detallada de la estructura del paisaje con base en un sistema de información geográfica (SIG) y un análisis estadístico.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

# FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS Y EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LA REGIÓN "LOS PETENES", CAMPECHE

## REPORTE FINAL

Q026



# PROYECTO FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS Y EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LA REGIÓN "LOS PETENES", CAMPECHE

## REPORTE FINAL



EL CENTRO DE ECOLOGÍA, PESQUERÍAS Y  
OCEANOGRAFÍA DEL GOLFO DE MÉXICO,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE



EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR  
UNIDAD CHETUMAL



A LA COMISIÓN NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN  
Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO)

**Responsable del proyecto (ref. Q026):**

Dr. Jean-Francois Mas Causse  
Investigador Asociado C de TC  
Area de Percepción Remota y SIG  
Centro EPOMEX Universidad Autónoma de Campeche  
A.P. 520 CP 24030 Campeche, CAMP.

Tel.: (981) 1 16 00

Fax: (981) 6 59 54

E-mail: [jfmas@igiris.igeograf.unam.mx](mailto:jfmas@igiris.igeograf.unam.mx)

Documento elaborado por :

J.F. Mas Causel, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche,  
J. Correa Sandoval, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal,  
A. De Alba Bocanegra, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal,  
P. Zamora, CIHS, Universidad Autónoma de Campeche,  
A. Pérez Vega, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, A.  
Sosa López, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche,  
G. Villalobos Zapata, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche,  
R. Zetina Tapia, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>4. MATERIAL Y METODOLOGÍA</b>	<b>7</b>
<b>4.1. Elaboración del mapa de vegetación de la región de Los Petenes</b>	<b>7</b>
<b>4.2. Caracterización de la fragmentación</b>	<b>8</b>
4.2.1. Caracterización de los petenes	8
4.2.2. Clasificación de los petenes	10
4.2.3. Caracterización de la fragmentación al nivel del paisaje	11
<b>4.3. Análisis de los cambios de cobertura de uso del suelo y vegetación</b>	<b>11</b>
<b>4.4. Muestreo de avifauna</b>	<b>12</b>
<b>4.5. Muestreo de vegetación</b>	<b>12</b>
<b>4.6. Análisis estadístico y modelización</b>	<b>13</b>
<b>5. ACTIVIDADES DESARROLLADAS</b>	<b>13</b>
<b>5.1. Elaboración de la cartografía y caracterización de la fragmentación</b>	<b>13</b>
<b>5.2 Muestreos de campo</b>	<b>13</b>
<b>5.3. Calendarización</b>	<b>16</b>
<b>5.4. Vuelo en avioneta</b>	<b>17</b>
<b>5.5. Presentaciones en eventos</b>	<b>17</b>

<b>6. RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>6.1. Elaboración del mapa de uso del suelo y vegetación</b>	<b>18</b>
6.1.1. Revisión de la cartografía	18
6.1.2. Corrección geométrica	19
6.1.3. Los tipos de vegetación en la región Los Petenes	19
<b>6.2. Análisis de los patrones de fragmentación</b>	<b>20</b>
6.2.1. Cálculo de los índices de fragmentación para cada petén	21
6.2.2. Correlación entre los índices	23
6.2.3. Clasificación de los petenes	24
6.2.4. Determinación de los tipos de matriz	26
6.2.5. Análisis a nivel del paisaje	27
<b>6.3. Análisis de los cambios</b>	<b>28</b>
<b>6.4. Muestreo de avifauna</b>	<b>28</b>
<b>6.5. Muestreo de vegetación</b>	<b>31</b>
<b>6.6. Sobrevuelo de la zona</b>	<b>33</b>
<b>6.7. Análisis de los resultados: Fragmentación versus biodiversidad</b>	<b>34</b>
6.7.1. Correlaciones entre número de especies y variables de fragmentación	34
6.7.2. Análisis factorial	37
6.7.3. Regresión múltiple	39
<b>7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN</b>	<b>40</b>
<b>7.1 .Evaluación de los índices de fragmentación</b>	<b>40</b>
7.1.1. Área	41
7.1.2. Forma	41
7.1.3. Área interior y bordes	41
7.1.4. Aislamiento	42
7.1.5. Diversidad	42
<b>7.2. Indicadores potenciales para el monitoreo y protección de los hábitats críticos y su fauna asociada en la región de los petenes</b>	<b>43</b>
<b>7.3. Avifauna</b>	<b>44</b>
<b>7.4. Los Petenes : una región privilegiada para estudios sobre fragmentación y biodiversidad</b>	<b>45</b>
<b>8. REFERENCIAS</b>	<b>45</b>
<b>LISTA DE LAS FIGURAS, TABLAS Y ECUACIONES</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS</b>	

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales sufren procesos de deforestación muy rápidos. Según las últimas estadísticas publicadas por la FAO (1997), entre 1990 y 1995, se registró una pérdida neta estimada en 56.3 millones de hectáreas de bosque en todo el mundo, lo que entraña una reducción de 65.1 millones de hectáreas en los países en desarrollo, compensada en parte por un aumento de 8.8 millones de hectáreas en los países desarrollados. Según la misma fuente, en México, se pierde más de 500,000 ha por año, lo que representa una tasa de deforestación nacional de cerca de 1 % por año. La deforestación no se traduce solamente en una disminución de área forestal, tiene también como consecuencia la parcelación de las superficies residuales es decir la fragmentación. En un paisaje forestal fragmentado, las áreas forestales forman parches rodeados por una matriz de tierras agrícolas u otras formas de uso del suelo. La fragmentación modifica las condiciones medioambientales y el funcionamiento de los ecosistemas alterando el régimen hidrológico, el ciclo de los elementos minerales, el microclima y las propiedades de los suelos (Forman, 1994).

La fragmentación de los hábitats en parches separados conduce a la reducción de las poblaciones, de los intercambios y de los procesos de inmigración. Estas modificaciones se traducen en la pérdida o el desplazamiento de la biodiversidad (Estrada y Coates-Estrada, 1994; Lauga y Joaquim, 1992; McIntyre, 1995; Saunders *et al.*, 1991; Turner, 1996). Numerosos estudios demostraron que el impacto de la parcelación de los hábitats sobre la biodiversidad depende de los patrones de fragmentación. Por ejemplo, se mostró que la abundancia de ciertas especies está relacionada con el tamaño y el grado de aislamiento de los parches de vegetación (Robbins *et al.*, 1989; Estrada y Coates-Estrada, 1994, McIntyre, 1995, Schiek *et al.*, 1995). Otros estudios mostraron que la fragmentación a través la multiplicación de los límites entre diferentes ecosistemas, perturba los organismos afines a las condiciones interiores mientras puede favorecer a otras especies (Lynch, 1989; Stouffer y Bierregaard, 1995). Revisiones de los efectos de la fragmentación sobre la biodiversidad pueden encontrarse en Saunders *et al.* (1991), Forman (1994) y Turner (1996) entre otros.

Con el fin de caracterizar los patrones de fragmentación, se desarrollaron herramientas matemáticas, llamadas índices de fragmentación, que permiten evaluar algunos aspectos de la fragmentación como el tamaño, la forma, la diversidad, la distribución espacial y los grados de aislamiento y de conectividad de los parches (FAO, 1995; Turner y Gamer, 1991, Jeanjean *et al.*, 1994; Forman, 1994). El programa FRAGSTATS, desarrollado por el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad de Oregon, Estados Unidos, es uno de los programas más difundido para el cálculo de estos índices. Sus ventajas son que a) es un programa comprobado, b) permite el cálculo de un gran número de índices, c) es compatible con el sistema de información geográfica ArcInfo y d) existe una versión sin costo disponible a través de internet en la página [http ://lise.uoregon.edu/fragstats2.Of/fragstats.html](http://lise.uoregon.edu/fragstats2.Of/fragstats.html).

La mayoría de los paisajes altamente fragmentados son el producto del desarrollo de las actividades humanas. La gran mayoría de los estudios sobre fragmentación se llevaron a cabo en áreas forestales parcialmente deforestadas donde persisten parches forestales de diferente tamaño y forma en una matriz de pastizales o campos agrícolas. Sin embargo, existen paisajes fragmentados de origen natural como la región "Los Petenes" ubicada en la costa noreste del Estado de Campeche entre la Ciudad de Campeche y Celestún, Yucatán (Figura 1).

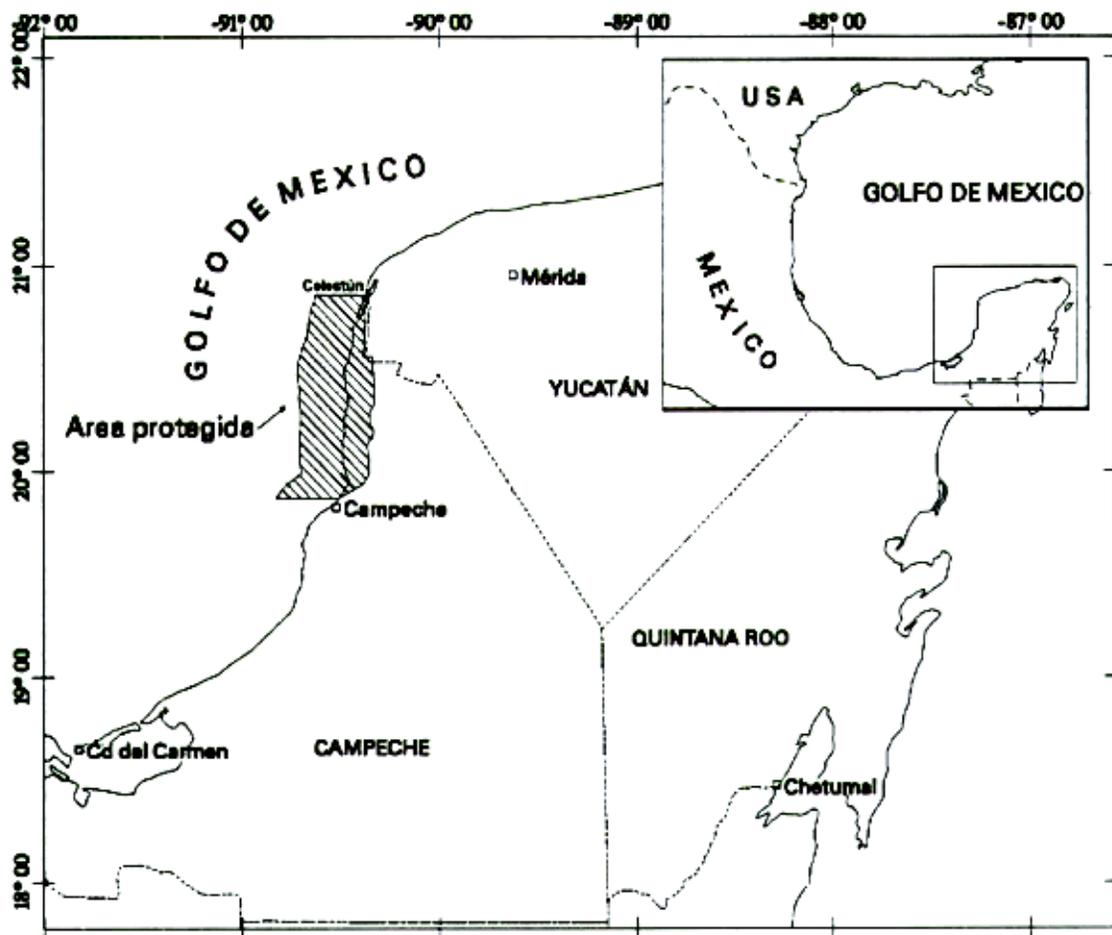


Figura 1 – Localización de la región de Los Petenes

La región es un gran pantano que cubre un área aproximada de 1300 km<sup>2</sup> (Rico-Gray, 1982). La característica más notable de esta región es la presencia de islas de vegetación arbolada (manglar o selva) inmersa en una matriz de vegetación herbácea, de manglar disperso o de selva estructuralmente más baja (Figura 2). Estos islotes de vegetación, generalmente asociados a un afloramiento de agua dulce o al relieve, tienen el nombre de *petenes*, vocablo maya que significa "campos llanos junto al mar a manera de islotes" (Rico-Gray, 1982; Olmsted y Durán, 1988). Los petenes se distribuyen en todo el borde de la Península de Yucatán, pero son particularmente abundantes en la porción centro oriental de Quintana Roo y en el noroeste del Estado de Campeche. Se les encuentra igualmente en Florida del Sur en la región de los *Everglades* (Olmsted *et al.*, 1980) y en la Ciénaga de Zapata, Cuba (Rodríguez Rubio, 1992). La distribución de la vegetación forestal en islas confiere al paisaje un estado de fragmentación natural.



Figura 2 – Petén (vista aérea)

La región presenta una biodiversidad relativamente importante. Dentro de la biota, la avifauna (residente y migratoria), es el grupo más conspicuo. Se registraron 440 especies de aves para el Estado de Campeche (Salgado, 1997). En la región de los Petenes, se registraron 295 especies de aves tanto residentes como migratorias, de las cuales 64 se encuentran en alguna categoría de protección por parte del Instituto Nacional de Ecología (INE) (Correa y de Alba, 1996; Correa y García Barrón, 1993). Se reportaron también en la zona mamíferos silvestres en peligro de extinción como el jaguar (*Panthera onca*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*) y el mono araña (*Ateles geoffroyi*) entre otros.

## 2. ANTECEDENTES

La región de los petenes de Campeche ha sido estudiada desde hace más de una década desde el punto de vista florístico y de diversidad (Rico-Gray 1982 ; Durán 1987 y 1995). Sin embargo el conocimiento de la vegetación y la distribución de las especies en las diferentes comunidades vegetales es aún fragmentario.

En 1996, el Centro EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche realizó, en el ámbito de un proyecto de la Organización de los Estados Americanos (OEA), el estudio técnico para la declaratoria de la región "Los Petenes" como "Zona Especial de Protección de Flora y Fauna Silvestre y Acuática". Dentro de este estudio se elaboraron mapas temáticos de la zona en escala 1:50,000 y 1:250,000 así como una base geográfica digital y se llevó a cabo un análisis comparativo preliminar de la evolución del uso del suelo y vegetación en los 20 últimos años. Igualmente, en colaboración con la Unidad Chetumal de El Colegio de la Frontera Sur, se hizo el listado de las aves presentes en la región. Los petenes parten de la región prioritaria para la conservación "Los Petenes - Ría Celestún" (CONABIO / PRONATURA / WWF / FMLN / USAID / TNC / INE). Una gran parte de la región fue declarada "Zona Especial de Protección de Flora y Fauna Silvestre y Acuática" en 1996 (Yáñez-Arancibia et al., 1996). En 1997, personal del Centro EPOMEX llevó a cabo la elaboración del plan de manejo del área protegida. El 24 de mayo del presente año, la región fue declarada reserva natural protegida, con el carácter de Reserva de la Biósfera (Diario Oficial del 24105199). Los mapas, escala 1:250,000, de ambas áreas protegidas están anexados al reporte.

### 3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto son los siguientes:

**Objetivo principal:** evaluar la fragmentación de los hábitats en la región "Los Petenes" y determinar su efecto sobre la diversidad de aves de bosque.

**Objetivos secundarios:**

- a) evaluar la biodiversidad de aves de bosque en el área protegida "Los Petenes",
- b) evaluar los índices para caracterizar el paisaje en la región,
- c) estimar la correlación entre los patrones de fragmentación del paisaje y la riqueza de aves de bosque,
- d) elaborar un método que permita estimar la biodiversidad con base en los índices de fragmentación y otros factores medioambientales,
- e) desarrollar indicadores para el monitoreo y protección de los hábitats críticos y su fauna asociada que se vean alterados por los procesos de fragmentación.

### 4. MATERIAL Y METODOLOGÍA

#### 4.1. ELABORACIÓN DEL MAPA DE VEGETACIÓN DE LA REGIÓN DE LOS PETENES

Con base en la interpretación visual de fotografías aéreas escala 1:75,000, capturadas en 1991 por el Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática (INEGI), se elaboró el mapa de uso del suelo y vegetación de la zona de los Petenes. Las clases utilizadas fueron blanquizal, pantano de zacates, manglar, manglar + pantano de zacates, blanquizal + manglar, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, frutales y petén.

El blanquizal se refiere a la franja palustre generalmente sin cubierta vegetal conformada por intrusiones salinas.

El pantano de zacate, se encuentra en áreas planas que se inundan y está formado por asociaciones de pastos dominadas por *Cladium jamaicensis* (saibal), *Typha dominguensis* (tule) o *Phragmites australis* (carrizo). En otras publicaciones, se refiere al pantano de zacates como "marisma de gramíneas y ciperáceas".

Las clases "manglar" abarcan a) el manglar de franja bordeando los canales y la costa y formado casi exclusivamente por *Rhizophora mangle*, b) el manglar achaparrado de *Rhizophora mangle* localizado cerca del mar, c) el manglar achaparrado de *Avicennia germinans* (entre 1 y 5 kilómetros de distancia al mar) y, d) el manglar achaparrado mixto localizado más tierra adentro (entre 8 y 15 kilómetros de distancia al mar).

El petén presenta una vegetación de mayor altura que la vegetación periférica. Generalmente está formado por elementos de manglar y de selva.

Más detalles sobre los tipos de vegetación presentes en la zona pueden encontrarse en Rico-Gray (1982) y Durán (1995).

Los polígonos determinados durante el proceso de foto-interpretación fueron corregidos geoméricamente a fin de compensar las deformaciones de las fotografías. Con el fin de compensar la falta de puntos de referencia en los mapas topográficos, se utilizaron imágenes de satélite (Welch y Madden, 1999). En una etapa siguiente, los polígonos se digitalizaron para integrarse en la base de datos de un sistema de información geográfica (SIG). El mapa digital representa la distribución de los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo de la región en particular de las islas de vegetación "petenes".

#### 4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN

Se llevó a cabo el análisis de los patrones de fragmentación del paisaje a través del cálculo de índices de fragmentación utilizando el programa FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1994) y varios programas "caseros" en ArcInfo. En el enfoque utilizado, el paisaje se considera como un mosaico de elementos o parches (Figura 3). Los índices describen la fragmentación del paisaje caracterizando a) cada parche (su tamaño, forma, aislamiento ...) y b) la totalidad o una porción del paisaje (proporción y arreglo espacial de los elementos que lo componen). En el presente estudio, se analizó la fragmentación de los hábitats forestales que son distribuidos en las islas de vegetación petenes. En una primera etapa, se caracterizó cada petén, luego se analizó la fragmentación al nivel del paisaje.

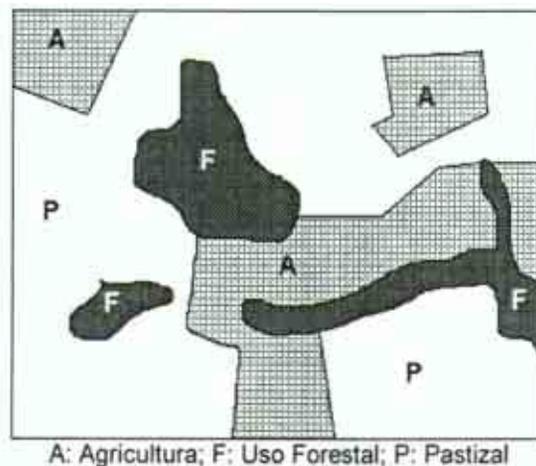


Figura 3 – Mosaico de parches

##### 4.2.1. Caracterización de los petenes

En un primer paso, se consideraron solamente los parches de petenes sin tomar en cuenta los tipos de vegetación que los rodean. Se tipificó cada petén a través de índices que permiten caracterizar su tamaño, su forma y su grado de aislamiento como se indica a continuación.

Se determinaron la superficie y el perímetro de cada petén. La forma de los petenes se estimó a través de dos índices. El primer índice, llamado índice de forma (IF), se basa en el ratio perímetro / superficie (ecuación 1). Evalúa la complejidad de la forma de un parche comparándolo con un parche estándar circular de misma superficie. Toma el valor 1 para una forma circular y aumenta a medida que la forma del parche es más compleja.

$$IF = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot S}}$$

donde IF = índice de forma; p = perímetro y S = superficie.

El segundo índice es la dimensión fractal (DF). Originalmente esta describe una relación invariable con la escala de observación, entre el perímetro y la superficie de un objeto como lo indica la ecuación (2) (Mandelbrot, 1997).

$$p = K \times S^{DF/2} \quad (2)$$

donde DF = dimensión fractal; p = perímetro, S = superficie y K es una constante que depende del objeto.

La ecuación (3), equivalente a la (2), expresa el valor de la dimensión fractal (DF) en función del perímetro p, de la superficie S y de la constante K.

$$DF = \frac{2 \times (\ln(p) - \ln(K))}{\ln(S)} \quad (3)$$

La constante K se determina llevando a cabo la regresión del logaritmo del perímetro contra el logaritmo de la superficie. Gráficamente,  $\ln(K)$  se determina por la intersección de la línea de regresión con el eje de las y, es decir el valor de  $\ln(p)$  cuando  $\ln(S)$  es igual a cero. En el algoritmo utilizado por el programa FRAGSTATS se considera que  $\ln(K) = 0$ , es decir  $K = 1$  (ecuación 4).

$$DF = \frac{2 \ln(P)}{\ln(S)} \quad (4)$$

donde DF = dimensión fractal; p = perímetro y S = superficie.

La dimensión fractal toma valores entre 1 y 2. Valores cercanos a uno indican formas geométricas sencillas. Los valores se acercan a 2 conforme las formas se vuelven más complejas.

Se utilizaron también algunos índices que se enfocan en la caracterización del área interior de un parche. Esta se define como la superficie del parche ubicada a cierta distancia de los límites exteriores (Figura 4), es decir la zona que no está afectada por los efectos de borde. La extensión del área interior depende a la vez del tamaño y de la forma de los parches. En el presente estudio, el área interior de los petenes se definió como la situada a más de 150 m de los bordes. Se eligió este valor porque se observó que la influencia exterior era considerablemente atenuada y porque varios autores reportaron la presencia de especies afines a las condiciones interiores a esta distancia al interior de parches forestales (Didham, 1997 ; Robbins, 1988). Para cada petén se determinaron el número de áreas interiores, la superficie de las áreas interiores y la proporción de la superficie total ocupada por ellas.

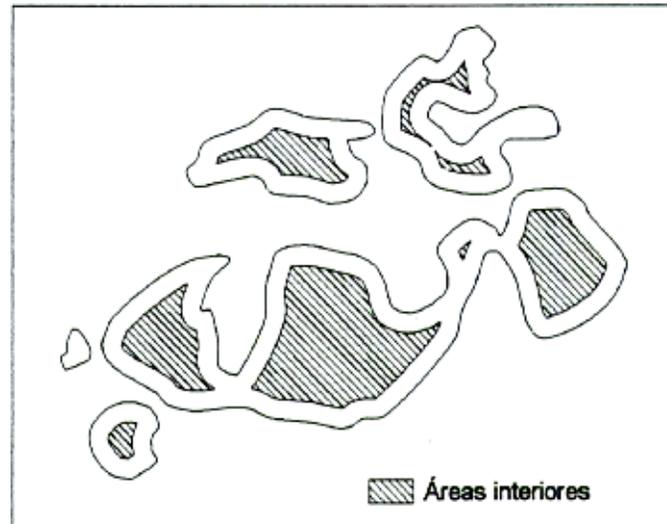


Figura 4 – Área interior de un parche

El grado de aislamiento de un parche puede ser sencillamente caracterizado por la distancia al parche de la misma categoría más cercano. El programa FRAGSTATS permite también el cálculo de otro índice que toma en cuenta el alejamiento y el tamaño de los parches vecinos. Este índice está igual a la suma de la superficie de los parches vecinos dividida por el cuadrado de la distancia (ecuación 5).

$$PROX = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{d_i^2}$$

(5)

donde PROX = índice de proximidad;  $S_i$  = superficie del parche vecino  $i$ ;  
 $d_i$  = distancia al parche vecino  $i$ .

El índice de proximidad se calculó tomando en cuenta los petenes vecinos situados a menos de 8 kilómetros del petén considerado porque ciertas especies silvestres pueden recorrer esta distancia entre diferentes fragmentos forestales (Estrada y Coates-Estrada, 1994).

En un paso siguiente, se tomó en cuenta los tipos de vegetación o uso del suelo que rodean los petenes. Se determinó cuantos y cuales tipos de vegetación colindan cada petén. Se afinó la clasificación de los petenes tomando en cuenta esta información.

#### 4.2.2. Clasificación de los petenes

Se clasificaron los petenes con base en los índices descritos anteriormente con el fin de reagruparlos en clases que presentan patrones de tamaño, forma y grado de aislamiento similares. Como los índices presentan unidades y rangos de valores muy variados (superficies, longitudes, números sin dimensión), se redujeron y centraron para generar variables que tengan todas un promedio de cero y una desviación estándar igual a uno (Wannacott y Wannacott, 1972). Estas variables se utilizaron para llevar a cabo un análisis de cúmulos (clasificación de tipo *cluster*) que es un proceso iterativo que permite reagrupar los petenes que presentan características similares. Luego se aplicó una clasificación jerárquica para disminuir el número de clases juntando varios cúmulos parecidos en una sola clase final.

#### 4.2.3. Caracterización de la fragmentación al nivel del paisaje

Los índices al nivel del paisaje permiten caracterizar el conjunto de parches que conforman un paisaje como por ejemplo la densidad de parches, la densidad de bordes entre diferentes tipos de parche o la diversidad de elementos presentes en el área, entre otros. Los índices de fragmentación a nivel del paisaje se calculan para una superficie dentro de la cual se supone que las condiciones son homogéneas. Esto facilita los cálculos pero deja de ser válido cuando se estudian superficies grandes y/o heterogéneas. Por esta razón se calculó el valor de los índices para áreas reducidas de la zona de estudio por medio de "ventanas". O'Neill *et al.* (1996) sugieren el uso de ventanas 2 a 5 veces más grandes que las unidades del paisaje para evitar sesgos en el cálculo de los índices. Para cada ventana, se calcularon a) la densidad de borde (longitud de borde / unidad de área) y, b) el índice de diversidad de Simpson. La densidad de borde se calculó con base en los límites entre parches forestales (petenes y selvas) y no forestales (manglares, pantanos de zacates, blanquizales). Se consideró la matriz de manglar como no forestal porque presenta una altura inferior a 4 metros. Se tomaron igualmente en cuenta los bordes formados por las carreteras. El índice de diversidad de Simpson es la probabilidad que dos puntos seleccionados al azar pertenezcan a parches de clase diferente (McGarigal y Marks, 1994) :

$$IS = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2 \quad (6)$$

donde IS es el índice de diversidad de Simpson y  $p_i$  es la proporción del área del paisaje ocupada por el tipo de parche  $i$ .

El índice de Simpson varía entre 0 y 1. Es igual a cero cuando el paisaje contiene solamente un parche (no hay diversidad) y se acerca a uno cuando el número de tipos de parches aumenta y la distribución del área entre los diferentes tipos es más pareja.

Los valores de cada uno de los dos índices fueron asignados al punto central de la ventana y se interpolaron para obtener una representación de la variación espacial de estas variables.

#### 4.3. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

Se analizaron imágenes de satélite Landsat MSS de diferentes fechas con el fin de detectar cambios en la cobertura vegetal de la región de los Petenes. Las imágenes provienen del proyecto CPAN (*Caracterización del Paisaje de América del Norte*) y han sido proporcionada por el Instituto de Geografía de la UNAM. Existe una gran variedad de métodos para detectar los cambios en la cobertura del suelo con base en el análisis de imágenes de satélite (Singh, 1989; Mas, 2000). En el presente estudio, se calculó el índice de vegetación normalizado para cada una de las fechas.

$$IV = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Donde IV es el índice de vegetación normalizado, IR el valor radiométrico (número digital) en la banda del infrarrojo y, R el valor radiométrico de la banda del rojo.

Con base en los índices de vegetación, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) selectivo. Este método consiste en aplicar el ACP a dos mismas bandas espectrales de fecha diferente para obtener dos componentes. La segunda componente es una imagen en la cual están realzados los cambios entre las dos fechas (Singh y Harrison, 1985). Generalmente se aplica a esta imagen de cambio una umbralización para separar las áreas de cambio de aquellas que no cambiaron.

#### 4.4. MUESTREO DE AVIFAUNA

Se seleccionaron los petenes a muestrear con base en las fotografías aéreas, el mapa de vegetación, los índices de fragmentación y los recorridos de campo. Se intentó ubicar petenes representativos de las diferentes clases agrupadas de acuerdo al análisis de fragmentación. De la misma manera, la accesibilidad fue un tanto determinante en esta fase del trabajo pues hay cientos de petenes prácticamente inaccesibles.

El parámetro que se muestreó fue la riqueza de especies de aves de bosque en cada petén. En esta fase del trabajo no se intentó utilizar métodos para estimar densidades ni frecuencias relativas. Lo anterior es justificable por dos razones, la primera es que la riqueza era lo que queríamos comparar contra los parámetros físicos de los petenes; el segundo es que en realidad no se puede aplicar técnicas de transectos o canteas por puntos o baterías de redes en esta jungla pantanosa, en la cual es muy difícil caminar. Otro punto es que muchos de los petenes resultan pequeños como para aplicar los métodos de estimación de poblaciones.

Para detectar la mayoría de las especies de aves de cada petén se empleó una combinación de métodos que son los siguientes: a) colocación de redes para atrapar especies poco conspicuas y que se mueven en la parte baja de la vegetación, normalmente se colocaba de ocho a diez redes. b) puntos fijos de muestreo, en los cuales el observador permanece en silencio y se hacen registros visuales o auditivos, y c) búsqueda activa, en la cual el observador camina a paso lento y en algunos casos de llama con silbidos o reclamos a las aves. El muestreo se realizaba durante cuatro horas en la mañana y tres por la tarde, al mediodía prácticamente no hay actividad de aves.

En algunos petenes no se podía utilizar todas las técnicas descritas en el párrafo anterior de acuerdo al tamaño del petén a muestrear y de las condiciones de inundación,

Para optimizar el tiempo dedicado al muestreo de cada petén se utilizaron curvas de acumulación. Se muestra un ejemplo en la figura 13. El muestreo se detenía cuando la curva alcanzaba su asíntota.

La permanencia en el campo nos permitió, de manera paralela, observar especies de aves que ocurren fuera de los petenes, es decir aves acuáticas o marinas o de amplia distribución. Esto permitió confirmar o aumentar la lista general de especies de la región.

#### 4.5. MUESTREO DE VEGETACIÓN

En los petenes donde se muestreó la avifauna, se realizaron igualmente muestreos de vegetación en sitios que aparentemente no mostraban signos de perturbación. En cada uno de los sitios, se establecieron cuadrantes de 20 x 20 m dentro de los cuales se identificaron las especies y se midieron los diámetro a altura del pecho (DAP) de todos los individuos de más de 5 cm. Se realizaron generalmente 5 cuadrantes por petén, lo que representa una área de 2,000 m<sup>2</sup>. Se recogió además información sobre el estado de la vegetación como su estructura, el tipo de estrato arbustivo, la cantidad de árboles caídos o talados.

Con base en la información recolectada en campo, se elaboraron los histogramas de frecuencias de diámetros para cada petén. Se calcularon algunos índices como área basal, número de individuos por hectárea, dominancia, similitud, etc. Para estimar la similitud entre petenes, se utilizó el índice de Sørensen.

#### 4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y MODELIZACIÓN

Con el fin de evaluar el efecto de los patrones de fragmentación sobre la biodiversidad de aves, se analizaron el número de especies *versus* los índices de fragmentación.

Se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre cada una de las variables de fragmentación y el número de especies de aves. El coeficiente de correlación de Spearman se basa en el rango y no en el valor de las variables. Permite estimar, por ejemplo, si son los petenes más extensos que presentan más especies aún si no hay una relación lineal entre área y número de especies. Luego se llevó a cabo un análisis factorial. Este permite describir un conjunto de  $p$  variables en términos de un menor número de índices o factores, y de elucidar la relación entre ellas.

En una etapa siguiente, se buscó modelizar el número de especies con base en las variables de fragmentación. Para ello, se llevó a cabo un regresión múltiple, paso a paso. Este método permite seleccionar las variables que explican mejor la variancia de los datos. El resultado final de este análisis es una ecuación que permite relacionar el número de especies con algunas variables (índices de fragmentación). Con base en este modelo, se puede hacer una estimación del número de especies en cada petén con base en el valor de estas variables obtenidas a través el análisis de los patrones de fragmentación en el SIG.

Los datos sobre vegetación fueron utilizados para apoyar la interpretación del análisis estadístico pero las variables sobre vegetación como el área basal o a la diversidad de especies de árboles por ejemplo no fueron utilizadas directamente en el modelo pues a) el objetivo del trabajo es evaluar el efecto de la fragmentación sobre la diversidad de aves y b) un modelo que tome en cuenta estas variables no podría ser utilizado para estimar la diversidad de aves en petenes no muestreados.

## 5. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

### 5.1. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN.

La elaboración de la base de datos geográfica, de la cartografía y la caracterización de los patrones de fragmentación se llevaron a cabo en el Área de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica del Centro EPOMEX.

### 5.2 MUESTREOS DE CAMPO

Se llevaron a cabo 13 salidas de campo para muestreo de avifauna, 7 para muestreo de vegetación y 2 salidas complementarias con el fin obtener datos para corregir la cartografía (recolección de puntos GPS). Se muestreó la avifauna en 16 petenes, 7 en la zona Norte y 9 en la zona central (carretera a Isla Jaina). El muestreo de vegetación se realizó en 16 petenes. No se muestrearon petenes de la zona sur (carreteras de la granja de Playitas, Tenabo) por falta de tiempo y porque los petenes de esta zona presentan límites muy difusos con la matriz. Los petenes muestreados aparecen en los mapas siguientes (figuras 5 y 6). Además del muestreo, fue necesario dedicar un tiempo importante a la exploración de la zona para encontrar vías de acceso, en particular para los 2 petenes de gran extensión (Las botas y las cojolitas) que se ubican más lejos de la carretera pero que eran particularmente interesante de muestrear.

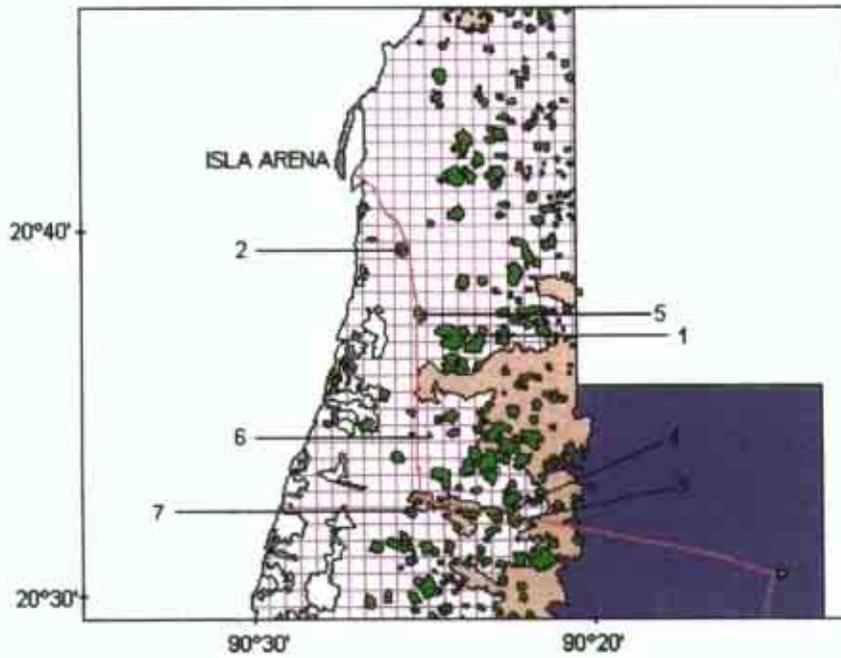


Figura 5 - Petenes muestreados (Zona norte)

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| 1. Los gemelos        | 5. La bomba  |
| 2. El cojol           | 6. El zapote |
| 3. El remate          | 7. El canal  |
| 4. El hijo del remate |              |

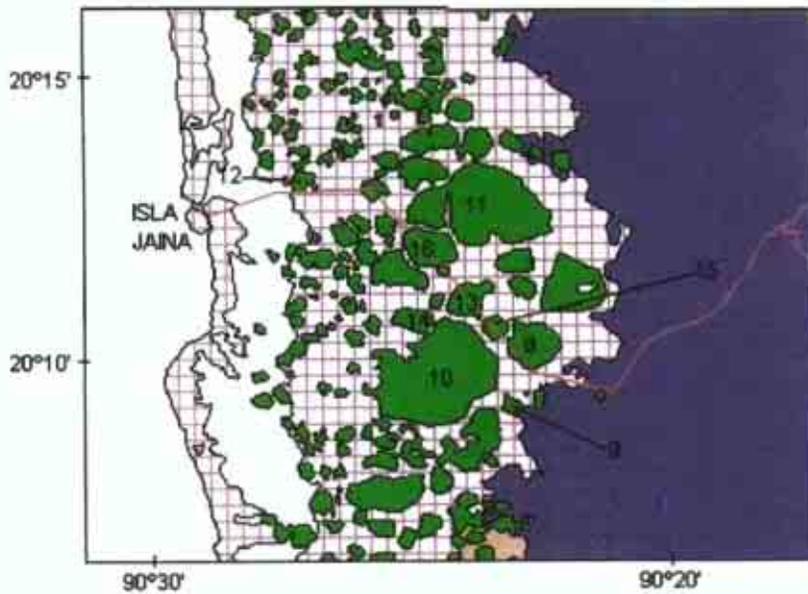


Figura 6 – retenes muestrados (Zona centro)

- |                 |                   |                     |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 8. Los loros    | 11. Las cojolitas | 14. Los Sedientos   |
| 9. Los perdidos | 12. La curva      | 15. Los X'Kilies    |
| 10. Las botas   | 13. Las Ilusiones | 16. El Tepezcuintle |

En la tabla a continuación, se indican las zonas donde se llevaron a cabo cada salida

de campo. Tabla 1 - Nomenclator de muestreo en Los Petenes de

Campeche

Fecha	Zona	Petén	Coordenadas	Vegetación
26-28 mayo 1998	Norte	Los Gemelos	20°36.859' 90°23.859'	Manglar Selva mediana
22-26 junio	"	El Cojol	90° 25.44' 20° 39.21'	"
20-24 julio	"	El Remate	90° 22.29' 20° 31.91'	Manglar, Selva Mediana y Baja
18-19 agosto	"	El Hijo del Remate	90° 22.92' 20° 32.02'	Manglar Selva Mediana
20-21 agosto	"	La Bomba	90° 24.98' 20° 37.47'	"
19-20 septiembre	"	El Zapote	90° 24.71' 20° 34.16'	Manglar, Selva Mediana y Baja
<b>4-5</b> noviembre	"	Los Gemelos	90° 23.93' 20° 36.81'	
6 noviembre		El Zapote	90° 24.71' 20° 34.16'	
7 noviembre		El Canal del Remate	90° 25.28' 20° 32.11'	
18-19 noviembre	Centro	La Curva	90° 25.45' 20° 12.85'	
20-21 noviembre	"	Las Ilusiones	90° 24.16' 20° 11.25'	
<b>5</b> diciembre	Sur	Carretera Tenabo - Playitas		
12-17 diciembre	Centro	Los Loros	90° 22.87' 20° 10.00'	
1 febrero 1999	"	Las Cojolititas	90° 23.70' 20° 12.37'	
2 febrero		Las Botas	90° 23.35' 20° 9.87'	
1-2 febrero	"	Los Loros	90° 22.66' 20° 9.86'	
3 febrero	Centro	Los Perdidos	90° 22.91 20° 8.94'	
<b>16-18</b> marzo	"	Las Botas	90° 23.71' 20° 10.04'	
20-22 abril	"	Carretera Isla Jaina		
9-10 mayo	"	Las Cojolititas	90° 23.70' 20° 12.37'	
11 13 mayo	"	Los X-kilies	90° 23.21' 20° 10.41'	
13 mayo	"	Los Sedientos	90° 24.77' 20° 10.49'	
27 agosto	"	Las Botas	90° 23.71' 20° 10.04'	
28-30 agosto	"	El Tepezcuintle	771205 2235110 UTM Z 15	
enero	"	La Curva	90° 25.45' 20° 12.85'	

### 5.3. CALENDARIZACIÓN

Respecto a la calendarización de las actividades previstas, se puede constatar en la tabla siguiente que todas las actividades fueron realizadas, algunas de ellas fuera de los plazos previstos :

- El muestreo de vegetación se inició en noviembre (en vez de junio) pero duró 5 meses más que inicialmente previsto,
- las compras programadas al inicio del desarrollo del proyecto fueron escalonadas sobre todo el período,
- la salida del mes de septiembre se suspendió en su segundo día por el robo de equipo de campo del proyecto y personal (tienda de campaña, mochilas, documentos, dinero, etc.),
- la salida de octubre fue postergada por causa del huracán Mitch y se realizó en la primera semana de noviembre, de manera que hubo dos salidas en noviembre,
- la salida de abril no se realizó por causa de la participación del equipo en los estudios preliminares a la declaratoria de la extensión forestal de Dzibalchén, Campeche como área protegida natural pero se realizó una salida extra en mayo,
- las juntas técnicas se llevaron a cabo junto con las salidas de campo,
- el proyecto se prolongó lo que permitió realizar dos salidas complementarias.

Tabla 2 - Calendario de las actividades previstas y realizadas

X: actividades realizadas, o: actividades que no se llevaron a cabo dentro de los plazos previstos.

Tabla 3 - Salidas de campo

#### **5.4. VUELO EN AVIONETA**

La Secretaría de Ecología del Estado de Campeche, a través de sus representantes R. Alcalá y D. Carrillo, mostró un gran interés por el proyecto y apoyó con un vuelo en avioneta de aproximadamente 2 horas en la zona de Los Petenes.

#### **5.5. PRESENTACIONES EN EVENTOS**

El proyecto y sus resultados preliminares se presentaron en diferentes eventos como se detalla en el anexo "Divulgación de los resultados".

## 6. RESULTADOS

### 6.1. ELABORACIÓN DEL MAPA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

#### 6.1.1. Revisión de la cartografía

En el ámbito de estudios anteriores al presente proyecto, se había elaborado un mapa preliminar de uso del suelo y vegetación de la zona de los Petenes con base en la interpretación visual de fotografías aéreas (tomadas en 1991, escala 1:75,000). Las fotografías se volvieron a analizar con el fin de detectar vías de acceso a los petenes (senderos, drenajes naturales, canales ...) y verificar la exactitud de la fotointerpretación. Este análisis, junto con los datos de campo, permitió corregir algunos errores en la clasificación precedente.

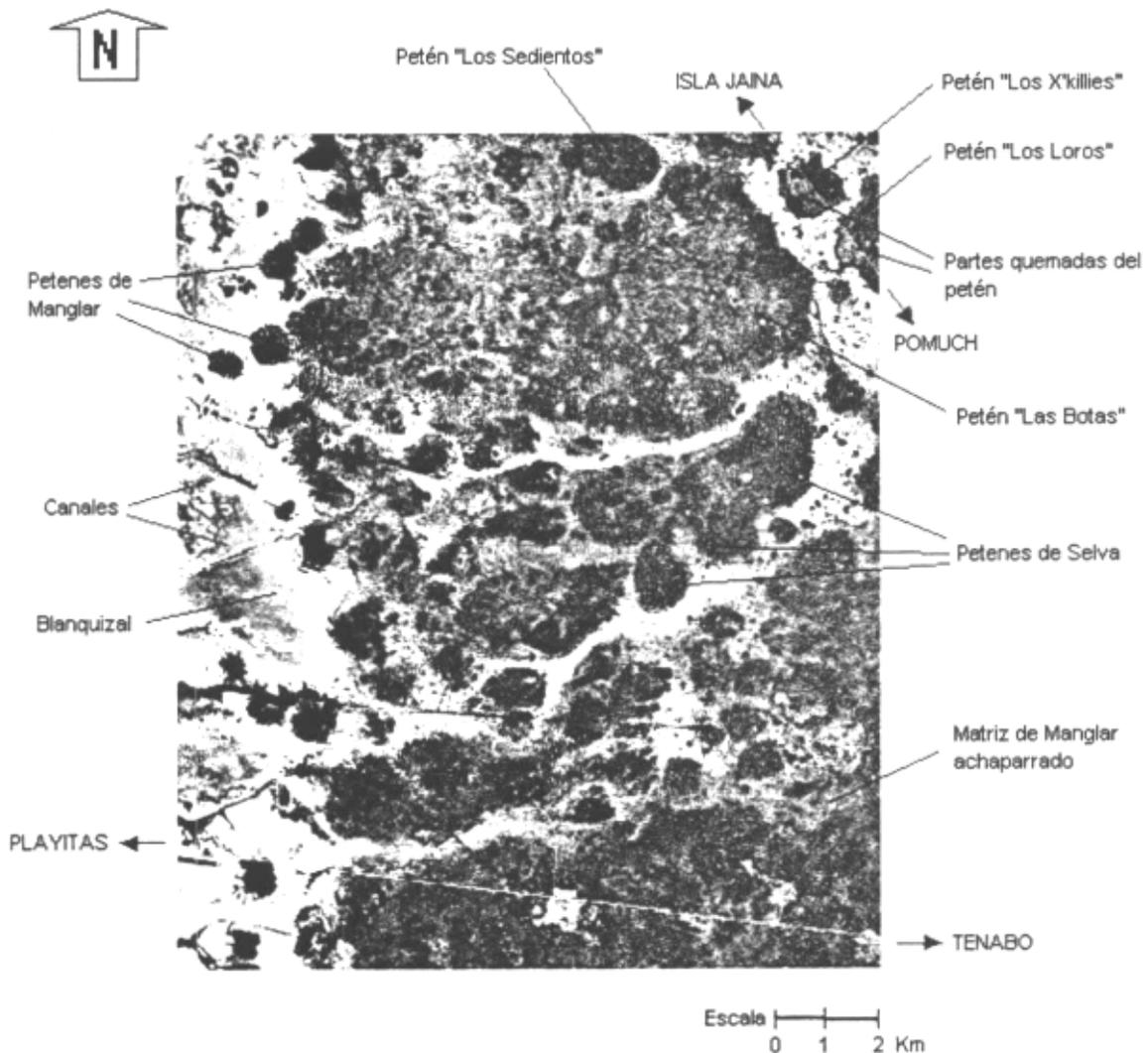


Figura 7- Fotografía aérea de los retenes "interpretada"

En la figura 7, se pueden apreciar los diferentes tipos de cubierta (petén, manglar, blanquizal) así como los canales y las carreteras. Las islas de vegetación que forman los petenes son de tamaño y forma muy variados. Se puede también observar que algunos petenes presentan límites muy difusos con la matriz, lo que vuelve su delimitación subjetiva.

### 6.1.2. Corrección geométrica

En el mapa preliminar, los polígonos determinados durante el proceso de foto-interpretación fueron corregidos geoméricamente con un estereo-restituidor a fin de compensar las deformaciones de las fotografías aéreas. Sin embargo, como los mapas de INEGI no presentan detalles de los elementos del paisaje en la región, sólo se pudo ubicar un número muy limitado de puntos de control. Debido a la falta de puntos de referencia, el proceso de corrección fue limitado y el mapa preliminar presentaba desfases. Con el fin de llevar a cabo una corrección geométrica complementaria, se utilizó una imagen de satélite Landsat MSS corregida (proyecto *North American Landscape Characterization*) en la cual se ubicaron puntos de control más fácilmente. La verificación de la exactitud geométrica del mapa con base en puntos determinados por posicionadores GPS permitió determinar que el mapa final presenta una precisión muy satisfactoria (errores de 10 a 80 m).

### 6.1.3. Los tipos de vegetación en la región Los Petenes

Debido a la escala de las fotografías aéreas, los elementos más pequeños cartografiables tienen una área de aproximadamente media hectárea de tal manera que los petenes más pequeños no están representados en el mapa. El mapa de uso del suelo y vegetación obtenido fue integrado en la base de datos de un sistema de información geográfica ARC/INFO. La figura 8 representa el mapa de uso del suelo y vegetación para una porción del área (ver también el mapa escala 1:150,000 anexo).

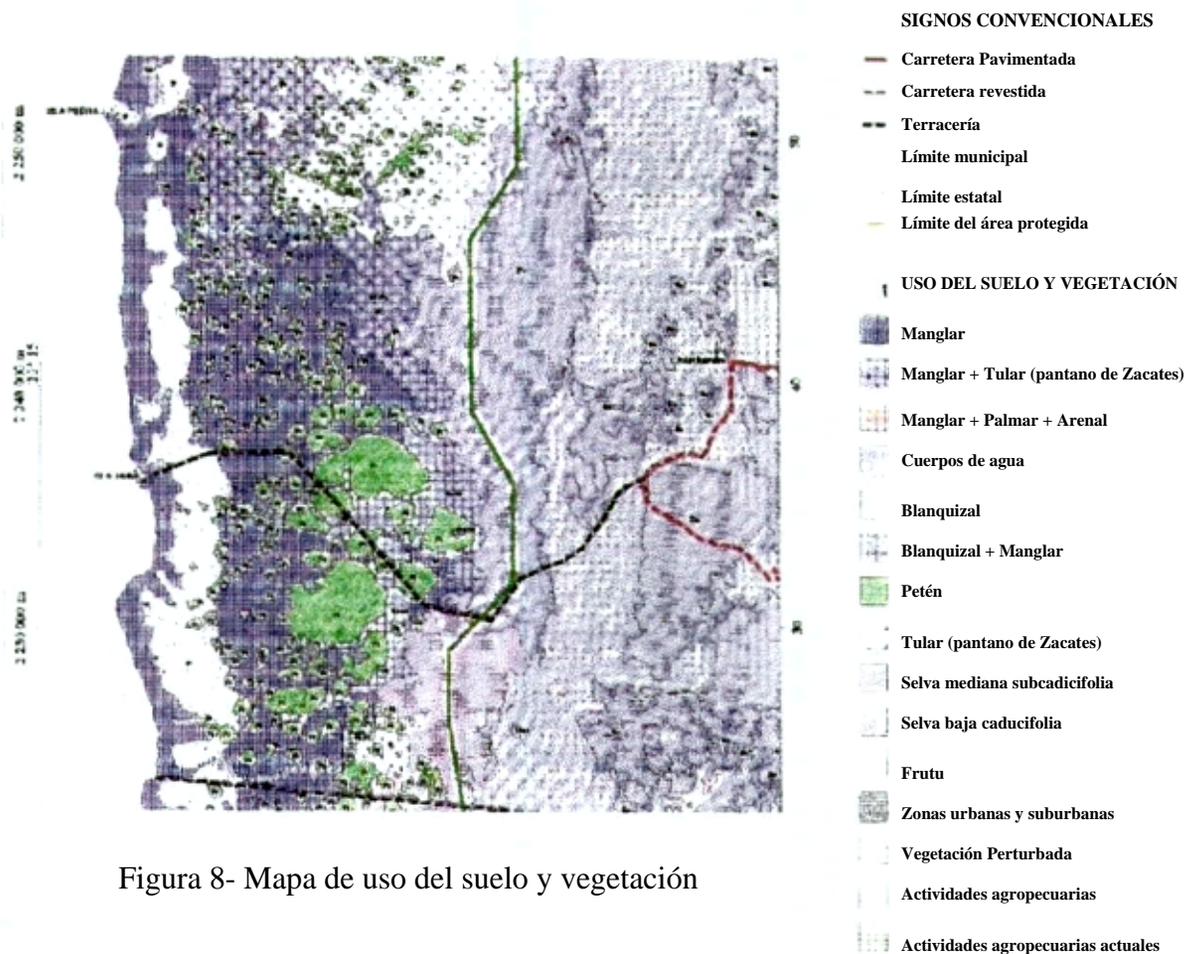


Figura 8- Mapa de uso del suelo y vegetación

Con base en el mapa digital, se calculó la superficie de cada tipo de vegetación y uso del suelo para el área protegida (tabla 4).

Tabla 4 - Superficie y número de parches de los tipos de cubierta en el área protegida Los Petenes, Campeche

Tipo de cubierta	Número de parches	Superficie (ha)	Porcentaje del total
Manglar+Palmar+Arenas	2	726	0.6
Manglar	25	28,789	22.9
Manglar+Pantano de zacates	7	25,860	20.6
Blanquizal+Manglar	8	7,033	5.6
Blanquizal	62	11,603	9.2
Pantano de zacates	10	16,039	12.8
Selva baja caducifolia	9	8,226	6.6
Selva mediana subcaducifolia	23	11,716	9.3
Petén	755	15,479	12.3
Área urbana (Isla Arena)	1	59	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>902</b>	<b>125,530</b>	<b>100.0</b>

Ciertos tipos de cubierta, como el manglar, el pantano de zacate y el blanquizal, están muy mezclados de manera que se utilizaron clases como "manglar + pantano de zacate" o "manglar y blanquizal". La superficie cubierta por asociaciones de manglar cubre más de 62,000 ha (50 % de la parte terrestre del área protegida). Las selvas, fuertemente perturbadas por las actividades humanas (quemadas), se localizan en la parte oriental del área protegida y ocupan una superficie de 20,000 ha (16 % del área protegida). En la región hay aproximadamente 1000 petenes que forman cerca de 800 parches de vegetación, de los cuales 755 dentro del área protegida de Los Petenes, Campeche y la mayoría de los demás en la reserva de Celestún, Yucatán. La vegetación de petenes ocupa alrededor del 12 % del área protegida, una superficie parecida a la de los pantanos de zacates y de los blanquizales.

## 6.2. ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE FRAGMENTACIÓN

Se llevó a cabo una caracterización de la fragmentación del paisaje desde un enfoque de análisis cuantitativo con base en el programa FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1994). Este programa permite el cálculo de numerosos índices de fragmentación. Se utilizaron programas en ArcInfo desarrollados por otros autores y modificados en el ámbito del presente proyecto y se escribieron algunos programas para determinar los tipos de cubiertas adyacentes a cada petén, la densidad de bordes y el índice de diversidad de Simpson.

---

Se tomaron en cuenta los límites del Área Natural Protegida de Los Petenes como fue declarada en 1996

### 6.2.1. Cálculo de los índices de fragmentación para cada petén

El estudio de la fragmentación se limitó al área protegida que abarca la gran mayoría de los petenes de la región. Con base en el mapa digital, se calcularon 9 índices de fragmentación con el fin de caracterizar cada petén: 1) el área, 2) el perímetro, 3) el número de partes centrales, 4) la superficie de la parte central, 5) la proporción del área ocupada por la parte central, 6) el índice de forma, 7) la dimensión fractal, 8) la distancia al petén vecino más cercano y 9) el índice de proximidad.

Con el fin de calcular la dimensión fractal con la ecuación (3), se calculó el valor de la constante K para los petenes. Para ello, se llevó a cabo la regresión del logaritmo del perímetro ( $\ln P$ ) contra el logaritmo de la superficie ( $\ln S$ ) para todos los petenes (figura 9). La ecuación de la línea de regresión es  $\ln(P) = 0.55 \times \ln(S) + 0.8042$  de manera que cuando  $\ln(S) = 0$ ,  $\ln(p) = \ln(K) = 0.8042$

$k = 2.23$ . La dimensión fractal del conjunto de los petenes es igual a dos veces la pendiente, es decir 1.1; lo que significa que los petenes presentan generalmente formas muy sencillas.

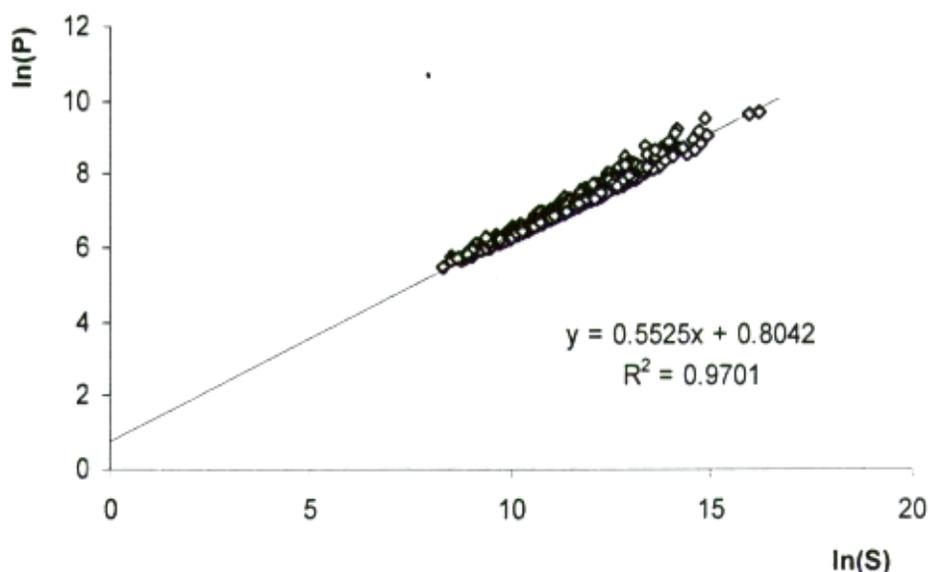


Figura 9 - Regresión del logaritmo del perímetro ( $\ln P$ ) contra el logaritmo de la superficie ( $\ln S$ )

La tabla 5 presenta los valores promedio, mínimo y máximo así como la desviación estándar de los índices de fragmentación de los petenes del área protegida. Se presentan los valores de la dimensión fractal calculada con base en la ecuaciones 3 ( $k = 2.23$ ) y 4 ( $k = 1$ ).

Tabla 5 - Estadísticas e índices de fragmentación de los *petenes*

Índice	Promedio	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
Superficie (ha)	20.5	57.3	0.4	1077.0
Perímetro (m)	1588	1480.8	235	16330
índice de forma	1.16	0.17	1.00	2.49
Dimensión fractal con $k = 1$	1.25	0.02	1.19	1.35
Dimensión fractal con $k = 2.23$	1.11	0.02	1.07	1.20
Número de área(s) interior(es)	0.4	0.6	0	4
Superficie del área interior (ha)	5.3	40.8	0.0	848.1
Proporción del área interior (%)	5.1	10.8	0.0	78.7
Distancia al petén más cercano (m)	206.1	269.2	20	2670
índice de proximidad	95.8	264.3	0.2	3048.5

El cálculo de la dimensión fractal está sesgado por la superficie. Por ejemplo, con base en la ecuación 4, un círculo de 1 ha presenta una dimensión fractal de 1.27, uno de 100 ha de 1.18 (tabla 6).

Tabla 6 – Valores de los índices de forma para círculos de diferentes tamaños

Area (ha)	IF	DF ( $k = 1$ ) (ecuación 4)	DF ( $k = 2.23$ ) (ecuación 3)
0.5	1.00	1.30	1.11
1	1.00	1.27	1.10
50	1.00	1.19	1.07
100	1.00	1.18	1.07
1000	1.00	1.16	1.06

En realidad la dimensión fractal de un círculo es 1 y no depende de su tamaño (para los círculos  $k = 3.54$ ). La dimensión fractal de los petenes es en promedio de 1.11 y 1.25, respectivamente con las ecuaciones 3 y 4, con una desviación estándar de 0.02. Las variaciones de círculos de diferente superficie entre 1 y 100 ha son más importantes que las del valor de la dimensión fractal de los diferentes petenes. La dimensión fractal y el área de los petenes presentan una correlación negativa (coeficiente de correlación de Spearman igual a -0.62 y -0.18 con la DF calculadas con base en la ecuación 4 y 3 respectivamente). Eso podría indicar que los petenes más pequeños presentan formas más complejas. Sin embargo un análisis visual del mapa nos indica que es todo el contrario : los petenes que presentan forma más complejas son generalmente los más grandes. Por consiguiente, es el sesgo inherente al cálculo de la dimensión fractal lo que explica esta correlación negativa: petenes de formas similares presentan una gran variación de su dimensión fractal dependiendo de su área, lo que vuelve este índice imposible de interpretar. Este sesgo es más importante para la DF calculada con base en la ecuación 4 ( $k = 1$ ). Considerando que los petenes más sencillos son de forma redonda, se podría calcular la dimensión fractal de cada petén con base en el valor de  $k$  de los círculos, lo que resultaría en un índice muy similar al índice de forma (IF).

Para evaluar los índices, es importante tomar en cuenta el impacto de los criterios, y los posibles errores, en la interpretación de las fotografías aéreas así como en la captura de la información en la base de datos geográfica. Los petenes presentan a menudo límites difusos, el cambio de vegetación de la matriz al petén es progresivo. La delimitación del petén durante el proceso de fotointerpretación conlleva por consiguiente un cierto grado de subjetividad. La corrección geométrica del mapa se hizo con base en puntos localizados en imágenes cuya resolución espacial original es de 80 m por lo cual no se puede esperar del mapa una mayor precisión. Por lo tanto, el área, el perímetro y los índices de forma pueden presentar algunas variaciones que, en proporción, son más importantes para los parches pequeños. Un índice particularmente sensible a las imperfecciones de la cartografía es el índice de proximidad cuando los petenes son muy cercanos.

### 6.2.2. Correlación entre los índices

Se calcularon los índices de correlación lineal y de Spearman entre los diferentes índices de fragmentación (tablas 7 y 8).

Tabla 7 — Coeficiente de correlación entre los índices de fragmentación

	S	PAI	SAI	DF K=2.23	DF K=3.54	DF	NAI	DPMC	PERIM	PROX	IF	
S	.1342	.3252				1.6930	-.9677**	0.0585	.2483**	-.3854**	-.0543	.8362**
PAI	.6930					.2213**	1.5723**	-.1625**	.1175"			.5857**
SAI	.9677**	.5723**				0.0104	.7509**	.2082"	.1971 **			.4954**
DF	0.0585		-0.007			1	-.007	.1128**	-.1978**	-0.0406	.6742**	.0945"
DF K	.2483**	.1175**	.1128**	.9046**		.1694**	.1694**					.1694**
CIRC						.1694**						
DF				.8102"	.4831**							
NAI	.3854**	.5857**	.1978**	0.0479	.3466**	-1	-.00195	.6855"	.1748"	.4567"		
DPMC	-.0543	-0.0104	-0.0406	-.1475**	-.1336							
PERIM	.8362**	.7509**	.6742**	.2566**	.5528"							
PROX	.1342"	.2082**	.0945**	0.0247	.0948**	-.0785"	.1748**	-.1886**	1.1191 **			
IF	.3252"	.1971**	.1618**	.8343**	.9708**	.3788**	.4567**					

S: superficie, PAI : Proporción del área interior (%), SAI : Superficie del área interior (ha); DF: Dimensión fractal con k = 1; NAI: Número de área(s) interior(es); DPMC : Distancia al petén más cercano; PERIM : perímetro, PROX: índice de proximidad; IF: índice de forma.

Tabla 8 – Coeficientes de correlación de Spearman entre los índices de fragmentación

	S	PAI	SAI	DF	DF	DF	NAI	DPMC	PERIM	PROX
				K=2.23 K=3.54						
PAI	.8224"									
SAI	.8296"	.9984"								
DFCK223	-.1791"	-.2687"	-.2372"							
DFKCIRC	.2924"	.1163"	.1448"	.8441"						
FRACT	-.6261"	-.6219"	-.5982"	.8454"	.4588"					
NAI	.8020"	.9583"	.9632"	-.1959"	.1585"	-.5414"				
DPMC	-.0908"	-.0759"	-.0832"	-.0966"	-.1151"	-0.0429	-.0875"			
PERIM	.9891"	.7764"	.7865"	-0.0543	.4088"	-.5237"	.7657"	-.1039**		
PROX	.3202"	.2650"	.2731"	0.0415	.1890**	-.1267"	.2644**	-.8126"	.3306"	
IF	.3939"	.2020"	.2296"	.7803"	.9925"	.3586"	.2369"	-.1197"	.5048"	.2218-

S: superficie, PAI : Proporción del área interior (%), SAI : Superficie del área interior; DF: Dimensión fractal con k = 1; NAI: Número de área(s) interior(es); DPMC : Distancia al petén más cercano; PERIM : perímetro, PROX: índice de proximidad; IF: índice de forma.

Como se puede observar, muchos índices presentan muy altas correlaciones entre ellos:

- La superficie (S), la superficie del área interior (SAI), la proporción representada por el área interior (PAI) y el perímetro (PERIM). Estos índices dejan de tener una alta correlación solamente para formas complejas, lo que es el caso de los petenes.

La dimensión fractal con k = 1 y k = 2.23 presenta una correlación negativa con la superficie y las variables correlacionada con ella por el sesgo que se mencionaba anteriormente.

Los índices de formas que están todas derivados de la relación entre perímetro y área.

El índice de forma (IF) presenta una correlación positiva con la superficie (y las variables fuertemente ligada a ella) porque los petenes más extensos presentan generalmente formas más complejas. Este mismo índice presenta una correlación negativa con la distancia al petén más cercano, pues los petenes más aislados tienen formas generalmente circular.

### 6.2.3 Clasificación de los petenes

Con el fin de agrupar los petenes en grupos similares en su tamaño, forma y grado de aislamiento, una clasificación se llevó a cabo con base en 6 de las variables calculadas en la etapa anterior (área, perímetro, porcentaje representado por el área interior, índice de forma, distancia al petén más cercano e índice de proximidad). Se descartaron las variables a) *número de áreas interiores* porque presenta valores discretos que dividen artificialmente los petenes durante la clasificación, b) *superficie del área interior* porque está muy correlacionada con el área del petén ( $r = 0.97$ ) y c) *dimensión fractal* que no fue satisfactoria en el caso de los petenes como lo vimos anteriormente. Los valores de estos índices fueron estandarizados y luego utilizados como variables en un análisis de cúmulos (*análisis de cluster*) que permitió determinar 15 clases de petenes. Las características (valores promedios) de los petenes de cada cúmulo están representados en la tabla 9. Se puede observar que algunos petenes tienen características únicas. Se trata por ejemplo de los petenes de los cúmulos 13 y 14 con extensiones muy superiores a los demás o de los petenes de los cúmulos 3 y 5 que presentan un índice de proximidad muy elevado. Un solo cúmulo reagrupa 451 petenes y los 4 cúmulos más grandes reúnen casi 93 % de los petenes.

Tabla 9 - Características de las 15 clases de petenes

---

En un paso siguiente, una clasificación jerárquica que consiste en reagrupar sucesivamente entre ellos los cúmulos mas parecidos se llevó a cabo con el fin de reducir el número de clases. El árbol de reagrupamiento (Figura 10) sugiere definir 5 clases de petenes reagrupando entre ellos los cúmulos 3 y 11; los cúmulos 1, 2, 4, 6, 7, 9, 10, 12 y 15 y los 13 y 14. En esta clasificación en 5 categorías, 98 % de los petenes se encuentran en una sola clase. La figura 11 representa los petenes clasificados para una porción del área protegida (ver también mapa anexo).

La tabla 10 presenta las características de los petenes de las 5 clases finales que resultan de la clasificación jerárquica.

Tabla 10 – Características de los petenes de las 5 clases

Núm clase	1		2		3		4		5	
Núm de petenes	744		7		1	1	2			
	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Promedio	Promedio	Desv. Est.		
S	17.64	28.28	16.18	9.64	17.55	278.69	963.7	160.25		
PAI	4.86	10.12	6.44	8.17	3.84	35.6	76.33	3.43		
SAI	3.26	13.82	1.68	2.28	0.67	99.21	738.3	155.35		
NAI	0.41	0.59	0.57	0.53	1	4	1.5	0.71		
DPMC	189.36	193.76	2115.68	413.97	60	60	84.09	34.06		
PERIM	1532.24	1209.6	1495.75	478.65	1729.3	13949.1	15866.8	655.21		
PROX	89.05	231.82	291.57	768.91	3048.55	213	331.2	10.89		
IF	1.16	0.17	1.09	0.04	1.16	2.36	1.45	0.06		

#### 6.2.4 Determinación de los tipos de matriz

En un paso siguiente, se determinaron para cada petén los tipos de vegetación que lo rodean. Para ello, se simplificó la clasificación de vegetación reagrupando los tipos de cubierta similares para finalmente considerar 4 tipos de matriz : a) manglares, b) pantanos de zacates, c) blanquizaes y d) selvas. La mayoría de los petenes (83 %) está inmersa en una matriz de un sólo tipo. Sin embargo, se pueden observar petenes que colindan con 2 o 3 tipos de vegetación diferentes (Tabla 11).

Tabla 11 - Tipos de vegetación adyacentes

Número de parches limítrofes	Número de petenes por tipo de matriz				Total
	M	P.Z.	S	B	
1	411	178	29	7	625
2	M y P.Z. 73	B y M 28	S y P.Z. 10	M y S 16	127
3	M, S y P.Z. 2	B, M y S 1			3

B: blanquizal; M: manglar; P.Z.: pantano de zacates; S: selva

Tomando en cuenta los tipos de vegetación que rodean cada petén, se puede subdividir las 5 clases definidas por las clasificaciones. Por ejemplo, los petenes de la clase que reúne la mayoría de los petenes pueden encontrarse en una matriz de blanquizal, de pantano de zacate, de manglar o de selva.

### 6.2.5 Análisis a nivel del paisaje

Los índices a nivel de paisaje se calcularon utilizando ventanas de 1 km por 1 km, lo que corresponde aproximadamente a 5 veces el promedio de la superficie de los petenes. Dentro de cada ventana se calcularon la longitud total de bordes forestal / no forestal y el índice de diversidad de Simpson. La interpolación de los valores de cada cuadro permitió definir las isolíneas que representan la variación espacial de estas variables (Figuras 11 y 12). Se puede observar que ambas variables presentan variaciones importantes en el espacio. Ciertas zonas presentan un gran número de tipos de cobertura y de borde forestal / no forestal mientras otras zonas son más homogéneas.

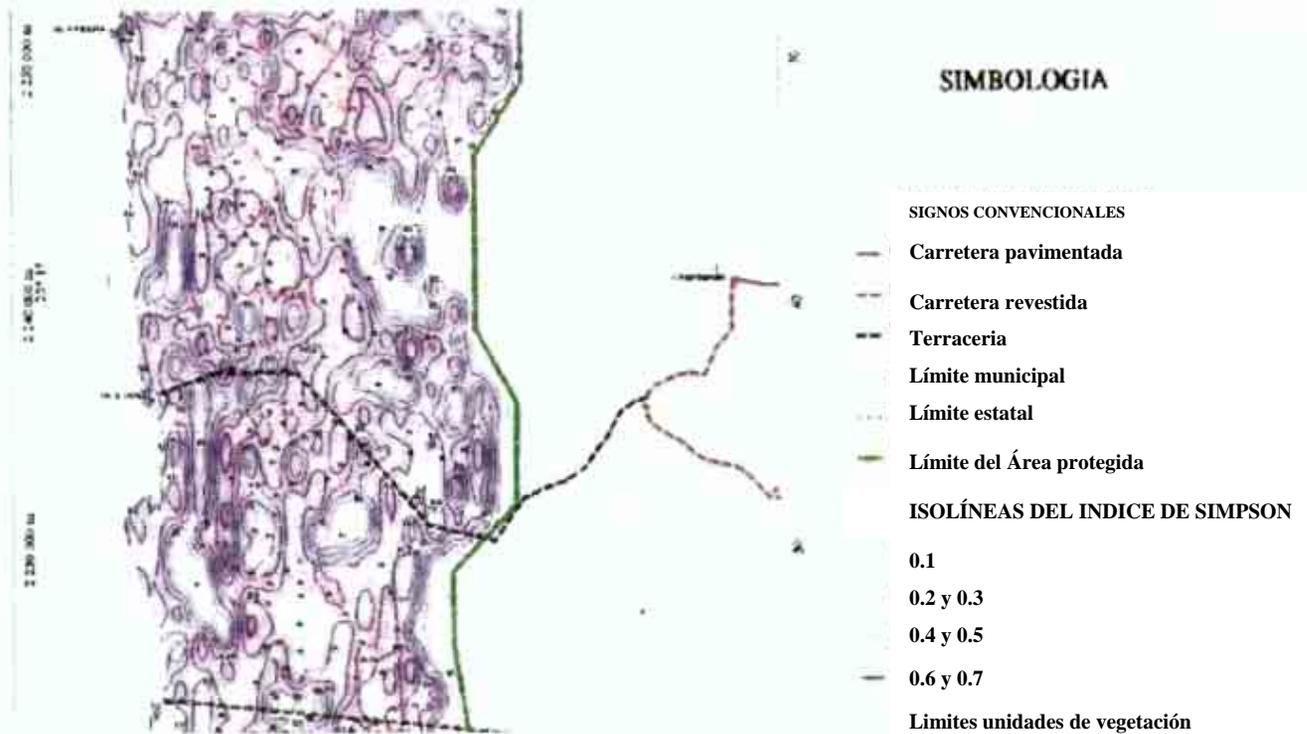


Figura 11- Variación espacial del índice de Simpson

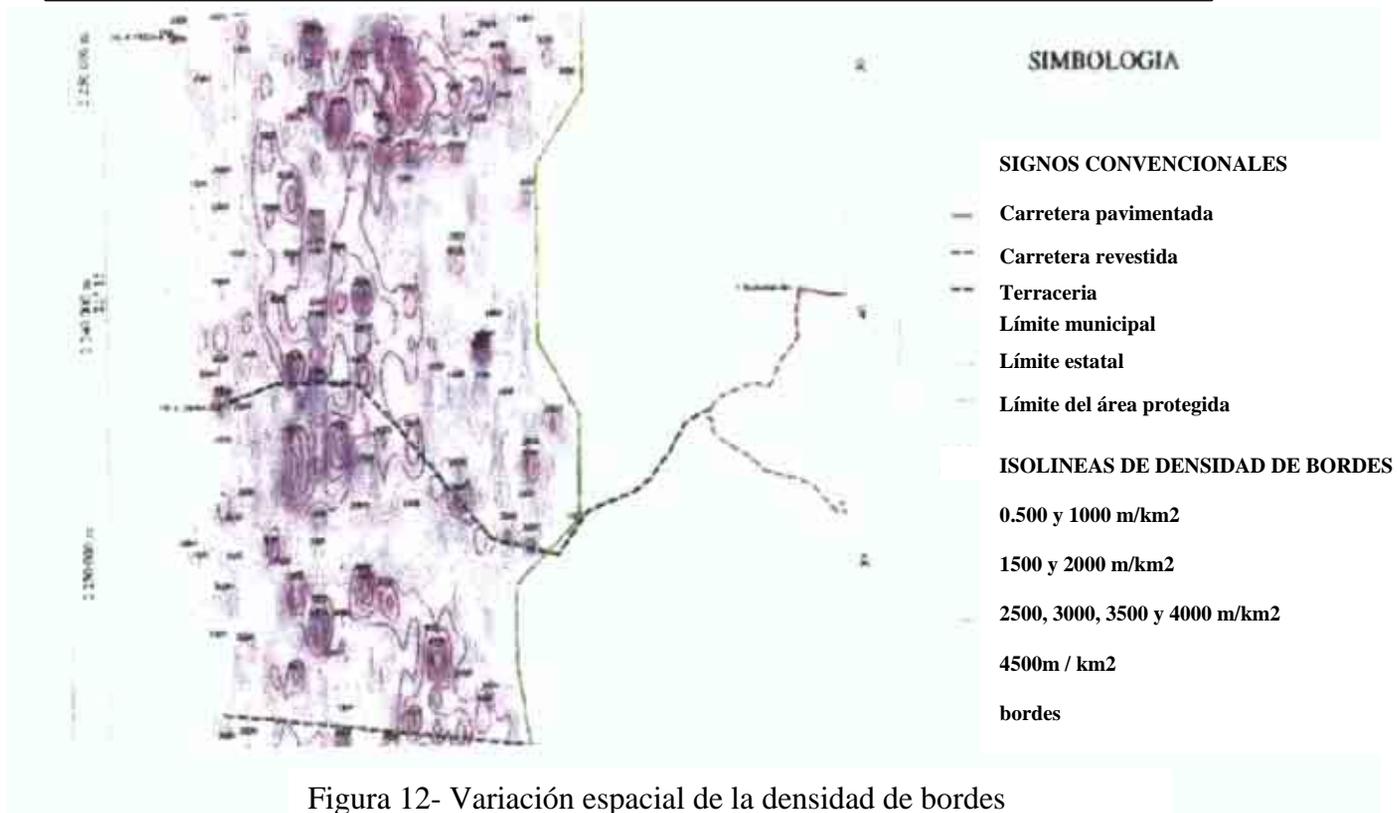


Figura 12- Variación espacial de la densidad de bordes

### 6.3. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS

Se utilizaron tres imágenes Landsat MSS del 24/8/1972, 28/11/1984 y 11/02/1990. Para cada una de estas imágenes se calculó el índice de vegetación normalizado y se llevaron a cabo 3 ACP utilizando como imágenes de entrada los índices de vegetación de 1972 y 1984; 1984 y 1990; y 1972 y 1990 para realzar los cambios durante los periodos 1972-84, 1984-90 y 1972-90. Los resultados de estos análisis fueron difíciles de interpretar ya que las diferentes imágenes utilizadas fueron tomadas en diferentes periodos del año (temporada de lluvias y sequía). Los cambios que aparecen en las imágenes de cambio se deben más a los cambios de fenología de la vegetación y de nivel de inundación que cambios de la cobertura del suelo (substitución de un tipo de vegetación o uso del suelo por otro). El único cambio de cobertura que se pudo identificar es la desaparición de una importante área de manglar debido a la construcción de la carretera a Isla Arena. Por los problemas de confusión entre cambio del estado de la vegetación *versus* cambio de vegetación no se pudieron cuantificar los cambios ocurridos en las últimas décadas en la región. Sin embargo el análisis de las imágenes, de la fotografías aéreas y los recorridos de campo indican que no hubo cambio muy importante en la cobertura del suelo de la región de Los Petenes recientemente.

### 6.4. MUESTREO DE AVIFAUNA

En total se muestrearon 16 petenes y se registraron 193 especies de aves (ver el cuadro taxonómico y la lista de las aves en el anexo 1). Los resultados obtenidos pueden sintetizarse en una tabla que representa para cada petén muestreado el número de especies de aves registradas y las características del petén. Los muestreos se realizaron a lo largo de un año, de manera que existen petenes que no fueron estudiados durante el período en el cual se encuentran todas las especies migratorias. Por esta razón, se presentan dos tablas. La primera, que representa el número de especies migratorias, no se analizará con mucho detalle porque concierne un número de petenes más reducido.

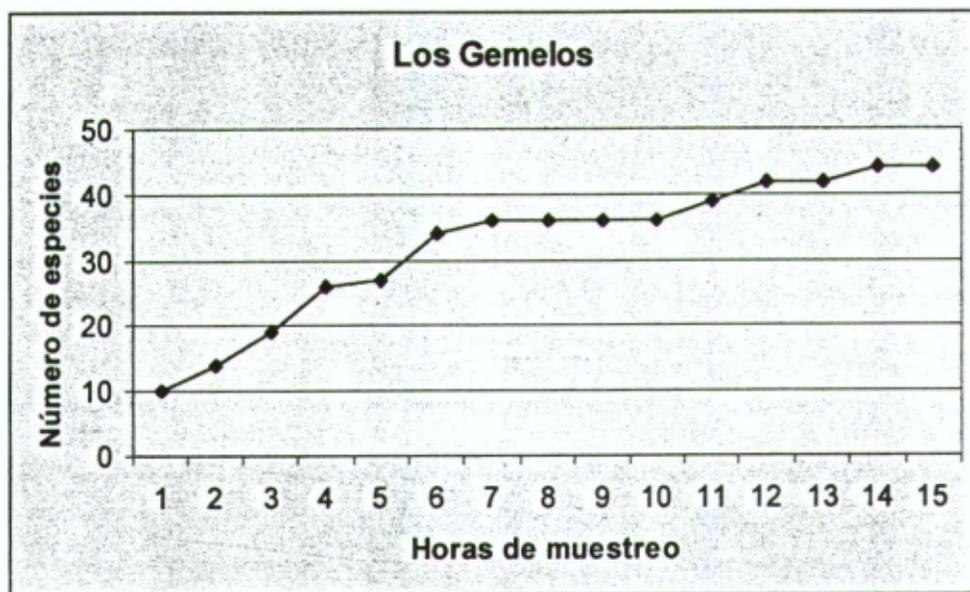


Figura 13- Curva de acumulación del número de especies observadas vs tiempo de muestreo

A continuación se presenta un breve análisis taxonómico de las especies registradas en Los Petenes.

Tabla 12 - Cuadro taxonómico

ORDEN	FAMILIAS	GENEROS	ESPECIES
Podicipediformes	1	1	1
Pelecaniformes	4	4	6
Ciconiiformes	4	14	19
Phoenicopteriformes	1	1	1
Anseriformes	1	2	2
Falconiformes	2	11	15
Galliformes	3	5	5
Gruiformes	2	4	4
Charadriiformes	5	9	11
Columbiformes	1	6	9
Psittaciformes	1	2	3
Cuculiformes	1	4	4
Strigiformes	1	3	3
Caprimulgiformes	1	2	2
Apodiformes	2	3	5
Trogoniformes	1	1	2
Coraciformes	4	11	14
Passeriformes	15	56	85
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>138</b>	<b>193</b>

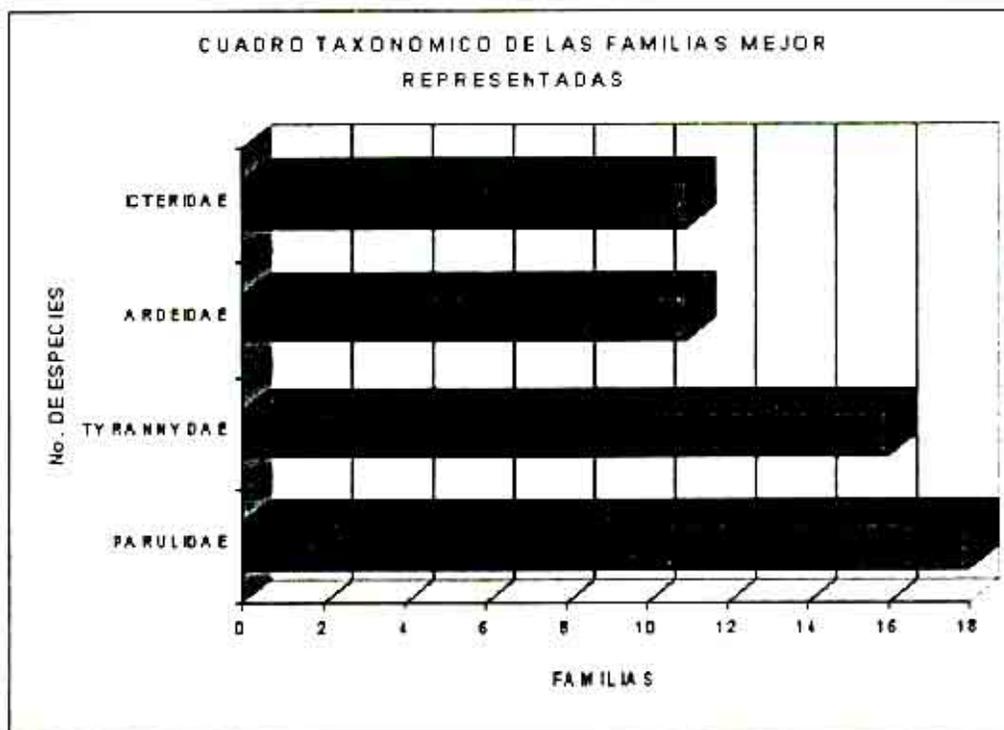


Figura 14 – Cuadro taxonómico por familias

Tabla 13 — Número de especies migratorias y características de los retenes

Petén	Núm. Esp. migratorias	Tiempo horas	S ha	PERIM m	IF	SAI	PAI %	DPMC m	PROX
El Canal	3	4	25.7	1910	1.06	4.5	17.5	1136	1.9
Los perdidos	1	3	29.6	2139	1.11	5.4	18.4	242	130
El zapote	5	10	3.68	691	1.02	0	0	590.9	2.65
Las Corolitas	11	15	850.4	15403	1.46	628.5	73.9	108	669.5
Las ilusiones	7	10	49	2562	1.03	17.8	36.4	127	460.5
La curva	8	12	46.9	3040	1.25	11.2	23.8	90	39.1
LosX kilfes	6	18	126.52	4925	1.24	60.9	48.14	134	408.9
Los Gemelos	12	18	134.6	6161	1.5	50.3	37.4	95	103.2
Las Botas	11	18	1077	16330	1.4	848.2	78.8	60	338.9
Los Loros	15	38	212.9	5706	1.1	135.1	63.4	127	120.9

Tabla 14 - Número de especies residentes y características de los petenes

Petén	Esp res	S ha	PERIM m	IF	SAI	PAI %	DPMC m	PROX
El Canal	11	25.7	1911	1.06	4.5	17.5	1136	1.9
Los Perdidos	19	29.6	2139	1.11	5.4	18.4	242	130
Los Sedientos	23	120.9	5037	1.29	54.4	45.0	42	1037.9
El Hijo del remate	24	38.6	2454	1.11	9.7	25.1	228	17.2
El Cojo!	25	26.6	1952	1.07	4.9	18.6	1608	0.6
La Bomba	27	30.3	2063	1.06	6.8	22.4	782	3.1
El Remate	38	40.8	2502	1.1	11.2	27.3	120	20.1
El Zapote	34	3.6	691	1.02	0	0	590.9	2.65
Las Cojolititas	31	850.4	15403	1.49	628.5	73.9	108	669.5
Las Ilusiones	36	49	2562	1.03	17.8	36.4	127	460.5
El Tepezcuintle	44	180	5230	1.1	108.9	60.5	30	794.8
La Curva	44	46.9	3040	1.25	11.2	23.8	90	39.1
Los X'killes	50	126.5	4925	1.24	60.9	48.14	134	408.9
Los Gemelos	50	134.6	6161	1.5	50.3	37.4	95	103.2
Las Botas	54	1077	16330	1.4	848.2	78.8	60	338.9
Los Loros	58	212.9	5707	1.1	135.1	63.4	127	120.9

#### 6.5. MUESTREO DE VEGETACIÓN

En casi todos los petenes donde se muestreó la avifauna, se realizaron igualmente muestreos de vegetación en sitios que aparentemente no mostraban signos de perturbación. En cada uno de los sitios, se establecieron cuadrantes de 20 x 20 m dentro de los cuales se identificaron las especies y se midieron todos los Diámetro a Altura del Pecho (DAP) de todos los individuos de más de 5 cm.

Se seleccionaron 15 petenes de estudio que representan petenes de manglar y de selva. Las especies más comunes presentes en los petenes son *Manilkara zapota* (zapote), *Metopium brownei* (chee-chen negro), *Sabal yapa* (palma guano), *Bursera simaruba* (cha kaj o palo mulato), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Ficus maxima* y *Piscidia piscipula* (Ja' abin). En anexo se presentan la lista de las especies reportadas en cada petén muestreado así como las dominancias, la descripción de la vegetación en cada petén, la distribución de las clases de diámetros y el grado de similitud entre los diferentes petenes. A continuación se presenta la lista florística para la región. Las familias para Magnoliopsida se basa en el sistema de clasificación de Cronquist (1981) y para Liliopsida en Dahlgren *et al.* (1985).

Tabla 15 — Lista florística de la región de Los Petenes

**DIVISION MAGNOLIOPHYTA**  
**CLASE MAGNOLIOPSIDA**

	<b>Nombre en Maya o Español</b>
<b>Acanthaceae</b> <i>Bravaisia berlandieriana</i> (Nees) T.F. Daniel	Julub
<b>Anacardiaceae</b> <i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urban	Checheem negro
<b>Annonaceae</b> <i>Annona glabra</i> L.	Palo de corcho
<b>Bignoniaceae</b> <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol) DC.	Maculis
<b>Burseraceae</b> <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Chaka'
<b>Combretaceae</b> <i>Conocarpus erecta</i> L. <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertner f.	Botoncillo Mangle blanco
<b>Ebenaceae</b> <i>Diospyros cuneata</i> Standl.	Siliil
<b>Fabaceae</b> <i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth. <i>Lonchocarpus</i> sp. <i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	Choy che' Chiim took Ja'abin
<b>Malvaceae</b> <i>Hampea trilobata</i> Standl.	Majahua
<b>Meliaceae</b> <i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba
<b>Mimosaceae</b> <i>Acacia</i> sp. <i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	Tsalam
<b>Moraceae</b> <i>Ficus maxima</i> Miller	
<b>Rhizophoraceae</b> <i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangle rojo
<b>Sapindaceae</b> <i>Talisia olivaeformis</i> (Kunth) Radlk	Guaya
<b>Sapotaceae</b> <i>Manilkara zapota</i> (L.) Van Royen <i>Sideroxylon americanum</i> (Mili.) T.D. Penn.	Sapote

**Verbenaceae**

*Avicennia germinans* (L.) L.

Mangle negro

**CLASE LILIOPSIDA**

**Arecaceae**

*Sabal mexicana* Mart.

Guano bon

*Sabal yapa* C. Wright ex Becc.

Guano

Para cada petén se elaboró un histograma de la frecuencia de individuos por clase de diámetro y se calcularon el área basal, la densidad de individuos por hectárea y el número de especies. Los diagramas que permiten caracterizar la estructura y el estado de conservación de la vegetación se presentan en anexo. La tabla siguiente resume los datos para cada petén.

Tabla 16 - Características de cada petén

	Los X'Kilies	Los Loros	Los Pumas	Otro Petén	El Remate	Los Gemelos
Superficie muestreada (ha)	0.16	0.52	0.16	0.12	0.2	0.2
Núm. de ind/ha	2306	1548	1144	767	945	1145
Núm. de esp.	15	17	12	8	9	12
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	35.97	54.16	36.62	29.49	49.6	33.19
	El Aborto	El Zapote	16-Dic	Las Ilusiones	La Curva	Las Cojolititas
Superficie muestreada (ha)	0.16	0.2	0.2	0.2	0.24	0.36
Núm. de ind/ha	781	1265	50.2	1435	750	994
Núm. de esp.	7	8		12	10	18
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	93.46	24.81	47.75	30.68	25.94	37.03
	Las Botas	Los Sedientos	Micropetén	Los Loros(parte quemada)		
Superficie muestreada (ha)	0.28	0.2	0.04	0.04		
Núm. de ind/ha	1889	1415	1375	2450		
Núm. de esp.	17	14	7	10		
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	<u>29.87</u>	<u>46.66</u>	<u>25.7</u>	19.82		

6.6. SOBREVUELO DE LA ZONA

El sobrevuelo se realizó el día cinco de febrero de 1999 con el apoyo de la Secretaría de Ecología del Estado de Campeche. Los integrantes del proyecto que participaron en el vuelo fueron Azucena Pérez Vega, Alejandro De Alba Bocanegra, Jorge Correa y J.F. Mas.

El vuelo tenía varios objetivos: a) detectar posibles accesos a petenes en la costa y en el interior, b) observar la situación que guardan los petenes ya visitados con respecto a su entorno, c) verificar

algunos aspectos relacionados con la cartografía del área protegida y, d) visitar las colonias de aves acuáticas en los blanquiales y en los petenes, en particular los flamencos y los gaitanes.

Se localizaron varios petenes con posibles entradas desde el mar; esos petenes están generalmente en una matriz ya sea de manglar o de blanquial. Se localizaron también algunas vías de acceso desde los alrededores de Santa Cruz y se pudo comprobar la exactitud del mapa que hemos elaborado.

En cuanto a las aves se localizó una colonia de 200 garzas (*Ardea alba*) en el petén que nosotros conocemos como "El quemado" al norte de "El Remate" (coordenadas UTM aprox. 772581, 2246381 m). Nunca antes habíamos observado anidación aquí. Se visitó la colonia de gaitanes (*Mycteria americana*) y se encontró activa con 300 nidos.

Se revisó la colonia de flamencos en 90° 28' W y 20° 30' (763700, 2268300 m UTM). En ese momento los flamencos no habían iniciado la anidación, sin embargo se encontraban en el sitio 400 individuos y se estimó que un 10% eran juveniles de menos de un año de edad, es decir de la temporada pasada. Se vió desde el aire las marcas que dejan en el lodo los flamencos al alimentarse.

Finalmente, se localizó una pareja de cigüeñas jabirú (*Jabiru mycteria*) en un parche de tular, en el sureste del área protegida.

Fue muy importante observar que las aves siguen en los sitios localizados con anterioridad, asimismo es importante la localización de una nueva colonia de garzas. Los flamencos parecen haberse establecido en el sitio. La colonia de flamencos se encuentra, por fortuna en un sitio al cual el acceso humano resulta prácticamente imposible. En cuanto a los jabirúes, es muy importante que el animal sigue localizándose en el sitio en donde fue avistado hace tres años, incluso ahora se avistó una pareja por lo que no sería difícil que pudieran anidar en el sitio. En esta ocasión no se pudo buscar el nido ya que el vuelo tenía otros objetivos.

## 6.7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS: FRAGMENTACIÓN *VERSUS* BIODIVERSIDAD

### 6.7.1. Correlaciones entre número de especies y variables de fragmentación

En una primera etapa, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre el número de especies y cada una de las variables.

Tabla 17 - Correlación entre el número de especies y los índices de fragmentación  
(especies migratorias)

	PAI	S	SAI	ESPMIG	IF	PERIM	DPMC
S	.9794**						
SAI	.9919**	.9904**					
ESPMIG	.6377**	.6863**	.6536**				
IF	.6012*	.6603**	.6297**	0.2825			
PERIM	.9412**	.9824**	.9595**	.6495**	.7666**		
DPMC	-.7285**	-.7756**	-.7658**	-.4996*	-.6342**	-.8168**	
PROX	.7471**	.7471**	.7815**	0.2769	0.4948	.7353**	-.7623**

S: Superficie del petén, SAI: Superficie del Área Interior, PAI: Proporción del Área interior, ESPMIG: número de especies migratorias, IF: índice de forma, PERIM: perímetro, DPMC: Distancia al petén más cercano, PROX: índice de proximidad.

Tabla 18 - Correlación entre el número de especies y los índices de fragmentación (especies residentes)

	PAI	S	SAI	<u>ESPRES</u>	IF	PERIM	DPMC
S	.9794**						
SAI	.9919**	.9904**					
<u>ESPRES</u>	<u>.6377**</u>	<u>.6863**</u>	<u>.6536**</u>				
IF	.6012*	.6603**	.6297**	<u>0.2825</u>			
PERIM	.9412**	.9824**	.9595**	<u>.6495**</u>	.7666**		
DPMC	-.7285**	-.7756**	-.7658**	<u>-.4996*</u>	-.6342**	-.8168**	
PROX	.7471**	.7471**	.7815**	<u>0.2769</u>	0.4948	.7353**	-.7623**

S: Superficie del petén, SAI: Superficie del área interior, PAI: Proporción del área interior, ESPRES: número de especies residentes, IF: índice de forma, PERIM: perímetro, DPMC: Distancia al petén más cercano, PROX: índice de proximidad.

El número de especies, tanto residentes como migratorias, presenta una correlación positiva significativa con la superficie del petén (S), el perímetro (PERIM), la superficie y la proporción del área interior (SAI y PAI). La diversidad de aves presenta igualmente una correlación negativa con la distancia al petén más cercano. Estos resultados parecen lógicos ya que numerosos estudios demostraron la relación entre el tamaño y la condición interior de los parches y el número de especies así como el efecto negativo del aislamiento de los parches sobre la diversidad biológica. Sin embargo hay que ser precavido en la interpretación de estos coeficientes ya que se examina independientemente la relación entre cada una de las variables explicativas y el número de especies. Este enfoque está sesgado a) por el hecho que las variables explicativas están muy relacionadas entre ellas (por ejemplo es posible que el perímetro tenga una correlación positiva alta con el número de especies no porque hay realmente una relación entre perímetro y diversidad sino porque el área del parche controla el número de especies y esta área es fuertemente correlacionada con el perímetro) y b) porque no toma en cuenta las posibles interacciones entre las variables explicativas.

Las figuras a continuación permiten visualizar la relación entre el número de especies residentes y diferentes variables (Figuras 15 a 17). Se representaron unas curvas que podrían modelizar la relación entre el número de especies y las variables.

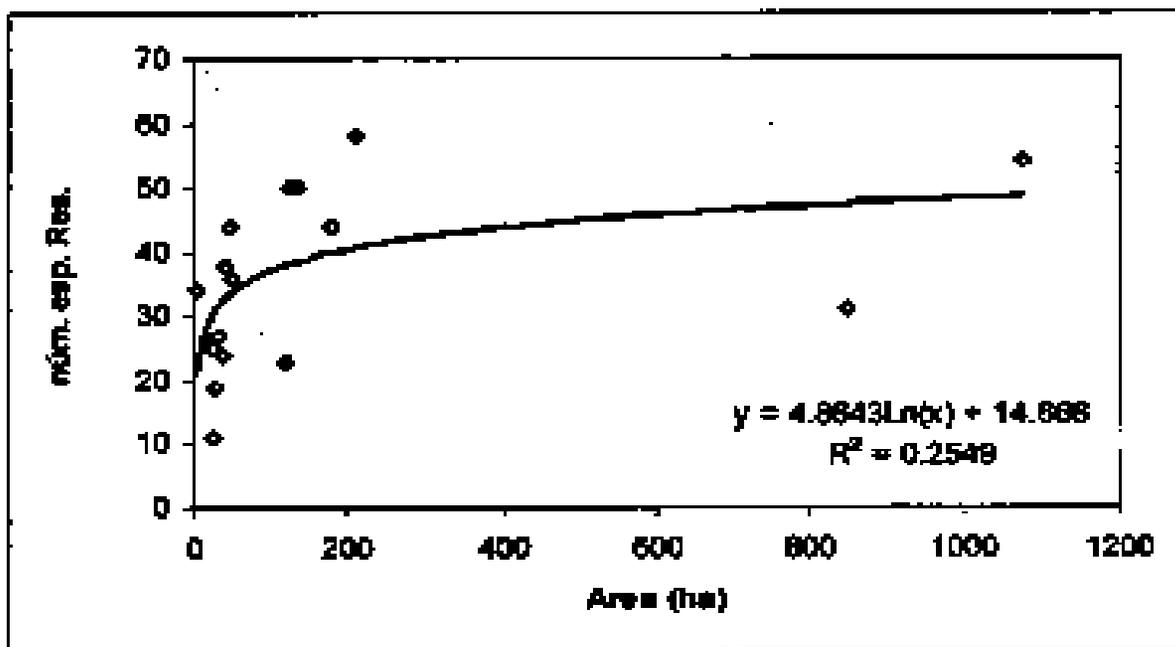


Figura 15 — Número de especies residentes vs área del petén

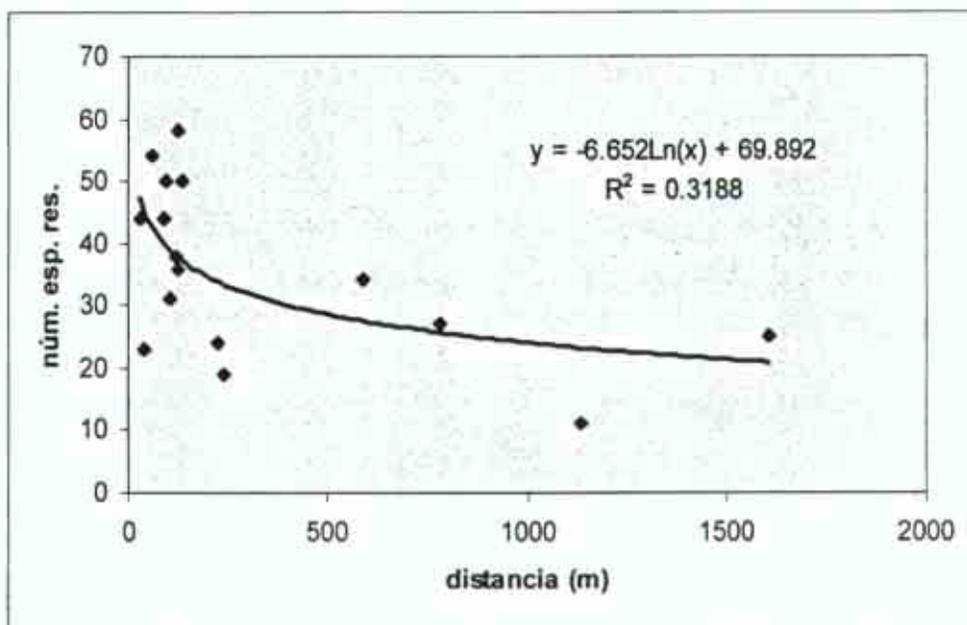


Figura 16 – Número de especies residentes vs distancia al peten vecino más cercano

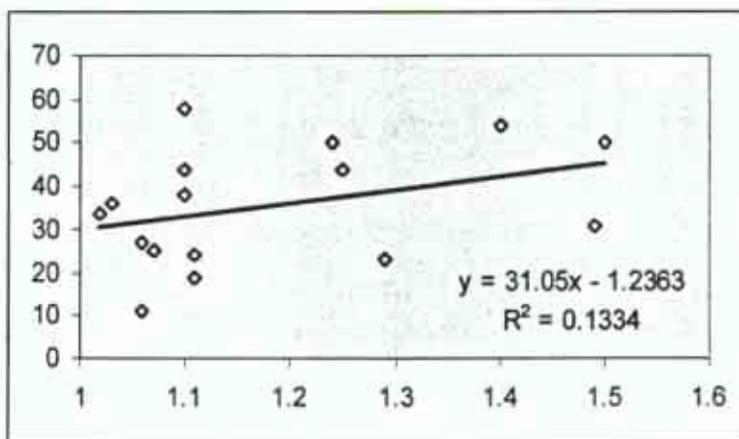


Figura 17 – Número de especies residentes vs índice de forma del petén

La interpretación de estos datos es delicada pues las variables explicativas presentan un alto grado de correlación entre ellas. De manera general, se observa que los petenes más extensos presentan más especies. Esta tendencia ha sido reportada por muchos autores (Estrada y Coates-Estrada 1994). La relación entre número de especies y área del petén podría acercarse a un logaritmo. Sin embargo el  $r^2$  es muy bajo y se podría interpretar como una relación lineal muy fuerte para superficies hasta 200 ha aproximadamente (figura 18) para llegar a un umbral. Es decir que los petenes de 200 ha ya tienen casi todas las especies y un incremento de la superficie no se traduce en un incremento de la biodiversidad. Este comportamiento puede explicarse por el hecho que ciertas especies presentan un requerimiento de área mínimo para la superficie de los parches (Robbins *et al.*, 1989). Si para la mayoría de las especies que presentan este tipo de requerimiento de área, la superficie mínima es inferior a 200 ha, el incremento de la superficie de los petenes se traduce en la posibilidad para estas especies de utilizar el petén. Otros posibles factores que pueden explicar que los petenes muy extensos (Las botas, las cojolitas) no presentan más

especies que petenes más pequeños como "Los loros" por ejemplo son a) por la dificultad de acceso a estos petenes los muestreos no se iniciaban en la madrugada y el esfuerzo de muestreo para estos petenes fue menos intensivo que para otros como "Los loros" por ejemplo. Algunas características de estos petenes muy extensos pueden también explicar la relativa baja abundancia de aves con respecto a lo que se podría esperar con base en el tamaño: Estos petenes no presentan una superficie arbolada homogénea. Por ejemplo el petén Las botas presenta partes de selva mediana muy frondosas y otras con una vegetación arbolada más baja y más abierta. Se observó igualmente que el petén "Las cojolitas" había sido muy talado y no presentaba cuerpos de agua.

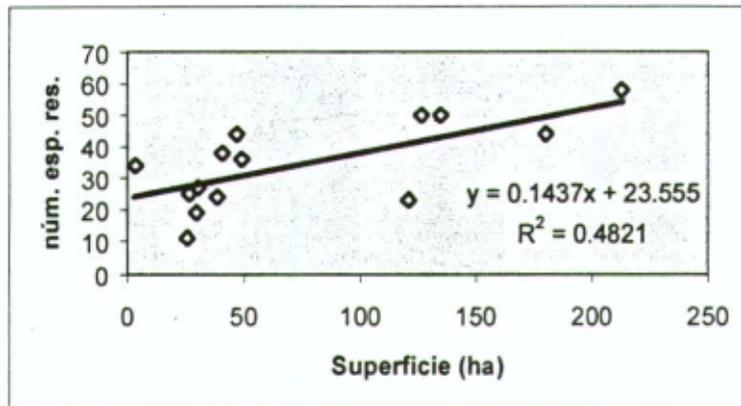


Figura 18 – Número de especies residentes vs índice superficie del petén

### 6.7.2. Análisis factorial

El análisis de factores se aplicó con dos variantes:

La primera variante se llevó a cabo con la variable AREA mientras en la segunda se utilizó la variable AREA\_VIS del grupo total de Variables. La variable AREA\_VIS es la variable AREA modificada para tomar en cuenta el efecto relacionado con el no-incremento del número de especies para los petenes de más de 200 ha. Las áreas superiores a 200 ha se consideraron como iguales a 200 ha. Los resultados obtenidos con las variables AREA y AREA\_VIS se muestran en las tablas 19 y 20 respectivamente. En ambos casos dos factores fueron los que explicaron más del 80% de la varianza total y el comportamiento observado (Figuras 19 y 20) entre los dos análisis no difirió sustancialmente, identificándose tres grupos básicamente. El primero grupo de variables PMC\_PETE (distancia al petén más cercano) y LN\_PMC (logaritmo de la distancia al petén más cercano) se diferenciaron claramente de los siguientes grupos, el cual fue consistente bajo las dos variantes de análisis. Un segundo grupo representado PROX (índice de proximidad) y ESPRES (número de especies residentes) al igual que el grupo antes mencionado también se presentó en los dos análisis. Sin embargo el primer análisis muestra dos agrupaciones cercanas las cuales podrían ser consideradas como un solo grupo (Figur 19) basándose en el análisis posterior donde efectivamente las demás variables forman un solo grupo (Figura 20) el cual está constituido por: AREA, PERIM, IF (índice de forma), AREAINT (área interior), LN\_AREA (logaritmo del área), AINTPC\_% (proporción del área interior) y LN\_AREA. (logaritmo del área) Sin embargo si se conserva únicamente el eje del Factor 2 en ambos casos la variable ESPRES se encuentra significativamente correlacionada en orden de importancia con las variables PROX, AREA\_VIS y AINTPC\_%. La variable PROX depende de la distancia y del tamaño de los petenes vecinos. Aumenta cuando la distancia a los petenes vecinos se reduce y/o cuando el tamaño de estos parches vecinos aumenta. Este índice toma valores altos para los petenes ubicados cerca de la carretera a Isla Jaina porque en esta zona hay muchos petenes agrupados y de gran extensión.

	Factor 1	Factor 2
AREA	0.9721366	0.1291
PERIM	0.9656879	0.2484
IF	0.7056322	0.3457
AREAINT	0.9661514	0.0952
AINTPC_%	0.7724763	0.5383
PMC_PETE	-0.163505	-0.905
PROX	0.2936311	0.6337
ESPRES	0.2970111	0.5805
LN_AREA	0.8208697	0.4824
LN_PMC_	-0.2668	-0.9428
Expl.Var	4.8518651	3.1759
Prp.Totl	0.4851865	0.3176

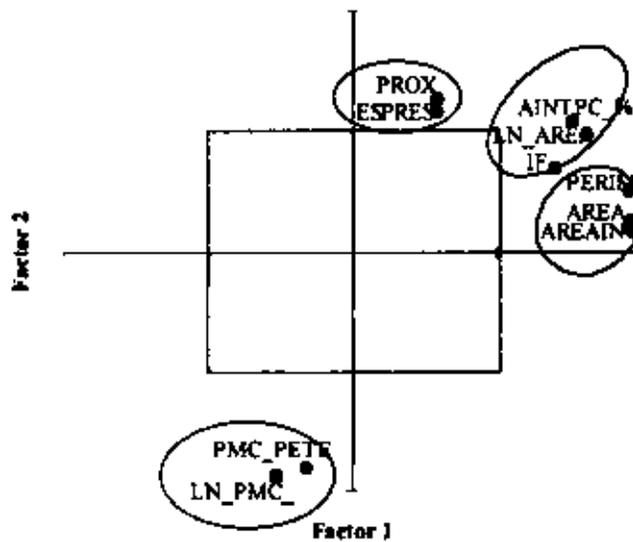


Figura 19 – Análisis factorial (Grupos de variables)

Tabla 20 — Análisis factorial con la variable AREA\_VIS

	Factor 1	Factor 2
AREA_VIS	0.6903489	0.6305
PERIM	0.9654964	0.2087
IF	0.7436125	0.2966
AREAINT	0.9390545	0.0607
AINTPC_%	0.8042269	0.5133
PMC_PETE	-0.173654	-0.8942
PROX	0.3299082	0.6186
ESPRES	0.321347	0.5834
LN_AREA	0.8580528	0.4454
LN_PMC	-0.295387	-0.9278
Expl.Var	4.556096	3.3779
Prp.Totl	0.4556096	0.3378

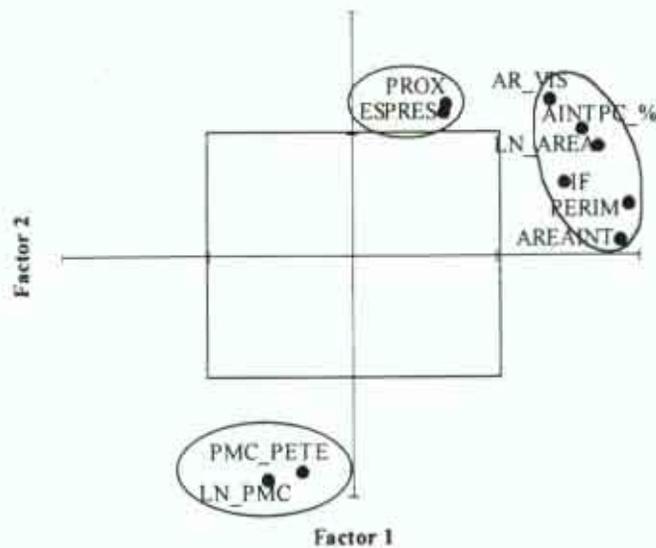


Figura 20 - Análisis factorial con la variable AREA\_VIS

### 6.7.3. Regresión múltiple

Dos análisis de regresión múltiple paso a paso fueron aplicados, encontrándose en el primer caso (El cual fue el mejor modelo de acuerdo al valor de  $r^2$ ) que las variables que AINTPC\_%, PROX, y LN\_PMC fueron las que mejor explicaron la variación de ESPRES. Sin embargo el modelo 2 aunque explica menos ( $r^2 = 0.59$ ) que el anterior es más simplificado, ya que las variables resultantes dentro del modelo fueron AR\_VIS y PROX únicamente. Ambos modelos son consistentes con lo observado en el análisis factorial debido a que las variables encontradas en el factor 2, fueron las mismas que explicaron la variable ESPRES en el análisis de regresión múltiple. Con base en el primero modelo, se estimó el número de especies de aves residentes que se puede esperar en cada uno de los petenes con base en las tres variables explicativas (proporción del área interior, índice de proximidad y logaritmo de la distancia al petén más cercano). Se elaboró un mapa con base en los resultados obtenidos. No se dispone de otras mediciones en campo para verificar la exactitud del modelamiento. Se discutió anteriormente el defecto del índice de proximidad (PROX) que se "dispara" cuando la distancia a los petenes vecinos es muy corta. En el mapa del modelo se puede observar el efecto de este defecto del índice: para algunos petenes ubicados muy cerca unos de los otros, el índice de proximidad y por consecuencia el número estimado de especies de aves toma valores muy altos.

Tabla 21 - Regresión múltiple (modelo 1)

Regression Summary for Dependent Variable: ESPRES						
R= .80510474 R <sup>2</sup> = .64819365						$Y = 73.4 + 0.33X1 - 0.03067X2 - 8.2X3$
F(3,12)=7.3699 p<.00464 Std.Error of estimate: 9.0376						
St. Err.		St. Err.				
BETA	of BETAB	Of B	t(12)	p-level		
Intercpt		<b>73.4046</b>	20.399	3.5985	0.0037	
AINTPC_%	0.5509928	0.2448	<b>0.33355</b>	0.1482	2.2504	0.044
PROX	-0.739728	0.2456	<b>-0.03068</b>	0.0102	-3.011	0.0108
LN PMC	-0.695926	0.2651	<b>-8.19835</b>	3.1236	-2.625	0.0222

Tabla 22 - Regresión múltiple (modelo 2)

Regression Summary for Dependent Variable: ESPRES						
R= .77316217 R <sup>2</sup> = .59777974 Adjusted R <sup>2</sup> = .53589969						
F(2,13)=9.6603 p<.00269 Std.Error of estimate: 9.2843						
		St. Err.		St. Err.		
BETA	of BETA B	of B	t(13)	p-level		
Intercpt			22.4137	<b>4.0972</b>	5.4705	0.0001
<b>AR_VIS</b>	1.0021156	0.2292	0.24051	<b>0.055</b>	4.3719	0.0008
PROX	-0.562571	0.2292	-0.02333	<b>0.0095</b>	-2.454	0.029

## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

### 7.1 .EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE FRAGMENTACIÓN

Existe una gran variedad de índices de fragmentación, muchos de ellos presentan altas correlación (redundancia) (Riitters et al., 1995). En el caso de los petenes, se encontró que ciertos índices presentaban problemas o tenían un interés limitado :

La dimensión fractal no permitió caracterizar adecuadamente la forma de los petenes por tratarse de formas sencillas.

- Ciertos índices como el índice de proximidad o el número de áreas interiores son difíciles de interpretar ecológicamente.
- Otros índices son redundantes como dimensión fractal y índice de forma; o área total y área interior.

A continuación se discuten la utilidad y la interpretación de los índices de fragmentación respecto a 5 aspectos principales : 1) área, 2) forma, 3) bordes y áreas interiores, 4) aislamiento y 5) diversidad.

### 7.1.1. Área

La superficie de los petenes del área protegida varía de 0.5 y más de 1000 ha. El área promedio es de 20 ha aproximadamente. Es importante notar que un gran número de petenes cuya superficie es inferior al área mínima cartografiada no se tomaron en cuenta. Se registraron 8 parches de más de 200 ha que parecen ser un conjunto de petenes que forman grandes extensiones de vegetación continua. La superficie de un parche es tal vez el dato más importante y útil en el análisis de un paisaje (Mc Garigal y Marks, 1994). Durán (1995) mostró que los petenes de mayor superficie presentan mayor riqueza florística. Varios estudios mostraron que la riqueza de especies de aves y la presencia de algunas especies depende fuertemente del tamaño del parche (Hutto, 1989; Robbins *et al.*, 1989; Estrada y Coates-Estrada, 1994). Esta tendencia se observó igualmente en los petenes.

### 7.1.2. Forma

La dimensión fractal presenta un sesgo relacionado con la superficie del petén. La dimensión fractal es la medición a diferentes escalas basado en el concepto de la similitud a través de las escalas. La variable denominada "dimensión fractal" y determinada a partir del cociente perímetro / superficie de los parches presentes en un paisaje observado a una sola escala no es la dimensión fractal en un sentido estricto. En otras palabras, parches de diferentes tamaños observados a una sola escala se utilizan para sustituir los cambios de escala. La constante k debe determinarse por un objeto fractal (observado a diferentes escalas) y no para una mezcla de formas diferentes como en el caso de los parches de un paisaje (Frohn, 1998). Por consecuencia, la utilización de la dimensión fractal para caracterizar la forma de parches de un paisaje conlleva problemas importantes. El índice de forma resulta ser más sencillo, más fácil de interpretar y mejor fundamentado que la dimensión fractal para caracterizar la forma de los parches de vegetación. Este índice parece particularmente bien apropiado a los petenes pues estos presentan generalmente una forma casi circular. El índice presenta así el alejamiento a la forma de petén estándar circular. Con base en este índice, se puede observar que la forma de los petenes es generalmente circular (índice de forma cercano a 1) pero algunos presentan formas más complejas (índice superior a 2). Sin embargo, los petenes no alcanzan la complejidad de los parches forestales remanentes en un paisaje parcialmente deforestado (Frohn, 1998; Mas, 1998).

### 7.1.3. Área interior y bordes

La extensión del área interior depende del tamaño y de la forma de los parches así como de la distancia utilizada para determinar el efecto de borde. Definiendo el área interior con una distancia de 150 m adentro del petén, la mayoría de los petenes (470) no presentan área interior, 257 presentan una sola área interior y 28 entre 2 y 4 áreas interiores. El porcentaje de la superficie representado por el área interior permite determinar si en el petén predominan las condiciones interiores o de borde. En cambio el número de áreas interiores nos pareció una medida un poco artificial en la medida que el efecto de borde disminuye progresivamente con la distancia hacia el interior del parche mientras el índice toma valores discretos. Por ejemplo, en la figura 7, se puede observar que cuando se incrementa la distancia para determinar el ancho del borde, el número de áreas interiores varía entre 1 y 3.

Varios estudios mostraron que los bordes son más expuestos al acción del viento, al sol y en ellos hay una evapotranspiración y una amplitud térmica más importantes que en el área interior (Tumer, 1996). Ciertas especies son afectadas negativamente por los bordes. Por ejemplo Burkey (1993) observó una depredación de nidos más importante en los bordes que en el interior de los bosques tropicales de Belice y México. La heterogeneidad en el paisaje resulta en parches más pequeños y por consecuencia un menor número de especies que requieran de las condiciones interiores de parches extensos. En cambio, especies afines a las condiciones de borde o que necesitan más de un ecosistema se encuentran se favorecen (Forman y Godron, 1986).

El mapa de la variación de la densidad de bordes muestra áreas con pocos bordes que corresponden áreas homogéneas como petenes grandes, selva y otras regiones con una gran densidad de bordes. En campo se observó que algunos petenes no tienen realmente bordes pues la transición entre la matriz y el petén es muy progresiva mientras que en otros petenes la zona de transición es muy pequeña y el cambio entre matriz y petén es más abrupto.

#### **7.1.4. Aislamiento**

La distancia al petén más cercano es sin duda una información valiosa ya que se ha demostrado que los fragmentos forestales selváticos aislados contienen menos especies que fragmentos del mismo tamaño localizados más cerca de otros parches forestales (Estrada y Coates-Estrada, 1994). Sin embargo se tendría que tomar en cuenta el tipo de matriz para tener una idea real del aislamiento del petén. Es probable que un petén ubicado en una matriz de blanquizal no presenta el mismo grado de aislamiento que un petén en una matriz de manglar. Esta noción de aislamiento depende en gran medida de las especies estudiadas : ciertas matrices pueden ser obstáculos imposibles de cruzar para algunas especies y no para otras. En la región estudiada, la distancia al petén más cercano es generalmente del orden de unos cientos de metros pero existen cerca de 15 petenes situados a más de un kilómetro y 5 a más de 2 kilómetros del petén vecino más cercano (Tabla 2).

En cuanto al índice de proximidad, su interpretación es delicada pues refleja a la vez la distancia a los petenes vecinos y el tamaño de estos petenes (ver ecuación 5). Cuando la distancia al petén vecino disminuye a la mitad, el valor del índice, que depende del inverso de la distancia al cuadrado, se multiplica por 4. En el caso de petenes muy cercanos, las variaciones del índice pueden carecer de sentido desde un punto de vista de su interpretación ecológica. Por ejemplo, si dos petenes vecinos están separados por una distancia de 50 o de 100 m, ¿ Existe una diferencia en la distribución de la fauna en estos petenes ?

#### **7.1.5. Diversidad**

La diversidad a la cual se refiere este párrafo es la diversidad de tipos de cubierta y no de especies. La heterogeneidad en el paisaje resulta en parches más pequeños y por consecuencia un menor número de especies que requieran de las condiciones interiores de parches extensos. En cambio, especies afines a las condiciones de borde o que necesitan más de un ecosistema se favorecen (Forman y Godron, 1986). La diversidad de aves que se encuentran en la región de los Petenes se explica por el mosaico de diferentes tipos de hábitats en esta región (aves playeras, aves de bosque afines a las condiciones interiores y aves de medio más abiertos). En el mapa de la variación espacial del índice de diversidad de Simpson, se pueden observar zonas de contacto entre diferentes tipos de cubierta (por ejemplo petén, manglar y blanquizal) que presentan un alto índice de diversidad mientras las zonas más homogéneas (1 solo tipo de cubierta) presentan un nivel más bajo de diversidad de tipos de cubierta. Es probable que una alta variedad de tipos de cubiertas se relacione con la abundancia de ciertas especies y por la rarefacción de otras especies que necesitan de una área importante de un solo tipo de hábitat. Sin embargo, en el presente trabajo no fue posible averiguar las relaciones entre la diversidad de hábitats y la biodiversidad de aves porque los muestreos de aves se realizaron exclusivamente dentro de los petenes.

## 7.2. INDICADORES POTENCIALES PARA EL MONITOREO Y PROTECCIÓN DE LOS HÁBITATS CRÍTICOS Y SU FAUNA ASOCIADA EN LA REGIÓN DE LOS PETENES

Una vez reconocido el valor del ecosistema "petén" tanto para flora como la fauna de la región costera de la Península de Yucatán, cuantificada parte de su biodiversidad más característica (aves), a través de la identificación y delimitación de los distintos tipos de "petenes" presentes en el área natural protegida "Los Petenes" en Campeche, se consideró pertinente el señalamiento preliminar de "indicadores ambientales" que se conformen con herramientas que sean el sustento de un potencial programa de monitoreo de la situación ambiental de los petenes dentro de la Reserva de la Biósfera "Los Petenes".

De acuerdo a la estructura y funcionamiento de los "petenes", se sugiere una serie de indicadores ambientales que a su vez conformen un Índice de la Situación Ambiental. Un indicador ambiental que se propone es el de "**Estatus ecológico**" que deberá tener información sobre:

- a) *Producción primaria* en los diferentes tipos de petenes;
- b) *Biodiversidad*, en este caso de aves y vegetales para cada grupo de petenes pero puede extenderse a los otros grupos bióticos, pero que con un futuro proyecto que abarque los otros grupos faunísticos y florísticos, pueda convertirse en un indicador de conservación (de acuerdo al grado o porcentaje de especies nativas presentes en los diferentes sistemas de petenes y en la propia Reserva de la Biosfera).
- c) *Vegetación como Indicadores hidrológicos*. El conocimiento de la hidrológia y la hidrodinámica subterránea en esta región, es fundamental para prevenir más que remediar, los impactos al sistema por obras humanas o eventos meteorológicas eventuales (huracanes, tormentas, incremento en el nivel medio del mar).
- d) *Incidencia de muertes o registro de enfermedades* en la vegetación dentro de cada tipo de peten;
- e) Cobertura de suelo o *uso de suelo y vegetación* que nos permita conocer la distribución de vegetación en cada tipo de parche de petenes y que sean característicos de ciertos tipos de suelo;
- f) Indicador de suelos. Finalmente se debe señalar que en futuros trabajos vinculados con este subtema, se recomienda fuertemente explorar otro tipo de indicadores que permitan identificar y medir la presión de las actividades humanas (como caza, tala e incendios y desvío de agua) en esta área natural protegida cuyo objetivo de creación hace que el indicador de biodiversidad adquiera una relevancia sustantiva.
- g) *Indicadores métricos de estabilidad del paisaje* y de integridad biótica y de diversidad que son métricas de patrones espaciales que nos permitirán relacionar los efectos de los patrones de uso del suelo con procesos, tales como, fragmentación de hábitats, distribución de la vegetación y movimientos de grupos faunísticos en el ecosistema de la Reserva de la Biósfera "Los Petenes"

Parte de la información generada por el proyecto, sienta las bases para en un mediano plazo poder trabajar indicadores ambientales como los señalados anteriormente y poder determinar para la Reserva de la Biosfera "Los Petenes", las áreas a ser conservados y para analizar la necesidad (a diferentes niveles) para restauración y aprovechamiento, con elementos más cuantitativos que permitan establecer un verdadero programa de monitoreo de los diferentes petenes.

### 7.3. AVIFAUNA

En cuanto a la avifauna, es muy interesante observar como la presencia de vegetación alta con diversidad de estratos y con mayor humedad que se mantiene en los petenes, permite la presencia de aves de selva. Debemos recordar que la región de Los Petenes está cercana hacia el sur con la zona forestal de Dzibalchen, la cual a su vez conecta con Calakmul. Sin embargo la parte norte de dicha región de petenes se extiende hasta la reserva de "El Palmar" en Yucatán, región caracterizada por su clima semiárido. La variedad de petenes y sus matrices forman un conjunto de parches que mantienen una alta diversidad.

De las 193 especies registradas en este trabajo hasta el momento en Los Petenes, se encontró que 132 son residentes, 12 más son residentes pero su población se incrementa con migratorias de invierno, hay una residente de verano y 48 son migratorias. Las 193 especies, equivalen al 38 % con respecto a la Península de Yucatán. De estas 193 especies, 65 especies están señaladas en la **Norma Ecológica-049 del Diario Oficial de la Federación** en alguna categoría de protección: Raras (23 sp), Amenazadas (20 sp), Protección especial (3 sp), Peligro de extinción (3 sp), comercialización como canoras y de ornato (8 sp) y permitidas para su caza (8 sp).

Existe un listado de 295 especies como posibles de presentarse en el área (Correa y De Alba 1996). La diferencia con este trabajo radica de manera principal en que ahora se hizo mucho trabajo en petenes, es decir en la parte forestal de la región, los avistamientos de aves acuáticas fueron circunstanciales, en cambio en el trabajo citado se incluyen muchas aves marinas así como patos y aves playeras.

Hasta el momento se han registrado 50 familias de aves, siendo la familia Parulinae (gusaneros) la mejor representada con 18 especies, le siguen las familias Tyrannidae (mosqueros) con 16, la familia Ardeidae (garzas) con 11 especies y la familia Icteridae (yuyas o calandrias) también con 11 especies (figura 14). También es interesante que se registraron a las cinco especies de maitines pescadores (Alcedinidae), reportados para México. Las selvas tropicales de la Península de Yucatán presentan una baja proporción de endemismos, Mackinnon (1992) reporta 12 especies endémicas para esta región, de las cuales hemos registrado siete en Los Petenes de Campeche y que son las siguientes: El loro yucateco (*Amazona xantholora*), el pavo de monte o k'utz (*Meleagris ocellata*), el carpintero enano (*Melanerpes pygmaeus*), el chel o urraca yucateca (*Cyanocorax yucatanica*), el mosquero copetón (*Myiarchus yucatanensis*), la tangara de garganta rosa (*Piranga roseogularis*) y la yuya o calandria yucateca (*Icterus auratus*).

También resulta interesante la presencia de especies consideradas como típicas de selvas, tal es el caso de algunos carpintero como el colonté (*Campephilus guatemalensis*), el *Piculus rubiginosus* y el *Celeus castaneus*; también es este el caso del kambul o faisán (*Crax rubra*).

Este trabajo ha permitido entender a grandes rasgos las diferencias entre petenes de la costa con petenes de tierra adentro, del mismo modo se ha confirmado la gran importancia de la región en el contexto de la Península de Yucatán. Debido a las grandes dificultades que se presentan para llegar a los petenes y permanecer en ellos esta exploración tiene ciertas limitantes, sin embargo estamos seguros que hemos registrado a la mayor parte de las aves en los petenes. Como se mencionó al principio de esta nota la región es un mosaico de hábitats y faltan varios de ellos de ser estudiados en detalle, por ejemplo las aves playeras en los blanquiales y las aves terrestres en la zona de t'zekel o selva baja espinosa inundable que se desarrolla en terrenos pedregosos al límite oriente de la región de Los Petenes.

#### **7.4. LOS PETENES : UNA REGIÓN PRIVILEGIADA PARA ESTUDIOS SOBRE FRAGMENTACIÓN Y BIODIVERSIDAD**

La mayoría de los estudios sobre fragmentación y biodiversidad se llevan a cabo en medios antropizados donde la fragmentación es el producto de la deforestación. Este enfoque puede presentar algunas limitaciones :

- a) Los patrones de fragmentación son recientes y cambian a menudo, lo que puede dificultar la evaluación del impacto de la fragmentación sobre la biodiversidad. Por ejemplo, se reporta un efecto de sobrepoblación en los parches remanentes que sigue la pérdida de hábitats (Forman y Godron, 1986).
- b) Es difícil discernir el efecto de la fragmentación de la influencia de las actividades humanas que acompañan esta fragmentación (intrusión de humo en los parches, ruido ...).

Por estas razones, el estudio de paisajes fragmentados naturales es una alternativa prometedora. Este estudio muestra que las islas de vegetación "petenes" presentan una gran diversidad en cuanto al tamaño, a la forma, al grado de aislamiento y al tipo de matriz no obstante la gran mayoría de los petenes presenta características similares. La región de los petenes presenta a) un buen estado de conservación, aunque se observó la tala selectiva de algunas especies de árboles (caoba y recientemente zapote) y algunas quemadas y b) una biodiversidad importante, en particular de aves. Por lo tanto, constituye un excelente laboratorio natural para desarrollar estudios sobre el impacto de la fragmentación del paisaje en la biodiversidad.

Sin embargo, existen algunos limitantes a este enfoque :

- Los efectos de sobrepoblación que mencionamos no son completamente excluidos. Es probable que la fauna se refugie en los petenes por causa de la presión antrópica creciente en toda la parte al oriente de la región de los petenes. En otras palabras, la fragmentación a una escala más pequeña, debida a la desaparición de extensas áreas forestales en la Península de Yucatán puede tener una influencia sobre la distribución de la biodiversidad en los petenes.
- Los resultados obtenidos con base en un estudio sobre fragmentación natural no se pueden necesariamente extrapolar a casos de fragmentación por acción antrópica. Por ejemplo, el tipo de borde que presenta un fragmento forestal en una matriz de pastizales es muy diferente de la transición progresiva entre un petén y su matriz de manglar.

## **8. REFERENCIAS**

Burkey T.V., 1993, Edge effects in seed and egg predation at two neotropical rainforest sites, *Biological Conservation*, n° 66, pp 139-143.

Correa Sandoval, J y A. de Alba Bocanegra, 1996. Fauna Terrestre Aves pp 58-68 y anexo pp 341-356 En: *Caracterización Ecológica Ambiental y de los Recursos Naturales de la Región de Los Petenes en Campeche*, Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Campeche, Julio 4 de 1996, 425 pp.

Correa Sandoval, J. y A. de Alba Bocanegra, 1999, Análisis preliminar de la avifauna de los petenes, Campeche, *Jaina* (en prensa).

Correa Sandoval, J. y J. García Barrón, 1993. Avifauna de Ría Celestún y Ría Lagartos. pp 641-649 En: *Biodiversidad Marina y Costera de México*. S.I. Salazar Vallejo y N. E. González (eds.). Co. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.

Cronquist A., 1981, An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York.

Dahlgren, R.M.T., H.T. Clifford & P. F. Yao, 1985, *The families of the Monocotyledons*. Springer - Verlag. Berlin.

Diario Oficial del 24/05/99, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Decreto por el que se declara Area Natural Protegida con el carácter de reserva de la biósfera la región del Estado de Campeche conocida como Los Petenes.

Didham R.K., 1997, The Influence of Edge Effects and Forest Fragmentation on Leaf Litter Invertebrates in Central Amazonia, in: *Tropical Forest Remnants - Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*, editado por W.F. Laurance y R.O. Bierregaard Jr., The University of Chicago Press, pp. 55-70.

Durán García R., 1995, Diversidad Florística de los petenes de Campeche, *Acta Botánica Mexicana*, n° 31, pp. 73-84.

Estrada A., R. Coates-Estrada, 1994, Las selvas de Los Tuxtlas, Veracruz: ¿ islas de supervivencia de la fauna silvestre ?, *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XX, n° 116, pp. 50-61.

FAO, 1995, Evaluation des ressources forestières 1990, pays tropicaux, *Etudes FAO Forêts* n° 112, 41 p.

FAO, 1997, *State of the World Forests 1997*.

Forman R.T.T., 1994, *Land Mosaics, The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge University Press, 632 p.

Forman R.T.T., M. Godron, 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley, New-York.

Frohn R.C., 1998, Remote Sensing for Landscape Ecology, New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems, Lewis Publishers, 99 p.

Hutto R.L., 1989, The Effect of habitat Alteration on Migratory Land Birds in a west Mexican Tropical Deciduous Forest : A conservation perspective, *Conservation Biology*, Vol. 3, n° 2, pp. 138-148.

Jeanjean H., C. Miquel, J. Fontes, H. Puig, A. Husson, F. Achard, 1994, Etude de l'interface forêt/non forêt, typologie de la fragmentation du domaine forestier tropical, étude morphologique et catalogue, contrat n° 5396-93-07 DE ISPF, JRC, Ispra, Italie, 85 p et 87 p.

Lauga J., J. Joaquim, 1992, Modelling the effects of forest fragmentation on certain species of forest-breeding birds, *Landscape Ecology*, n° 6, pp. 183-193.

Lynch, J.F., 1992, Distribution of overwintering Neartic migrants in the Yucatan Peninsula, II: Use of native and human-modified vegetation, in *Ecology and Conservation of Neotropical Migrant Landbirds*, edited by J.M. Hagan III and D.W. Johnston, Smithsonian Institution Press, Washington and London, pp. 178-194.

MacArthur, R.H. and E.O. Wilson, 1967, *The Theory of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton, 203 pp.

Mandelbrot B.B., 1977, *Fractals, Form, Chance, and Dimension*, Freeman, San Francisco.

Mas J.F., 1998, Deforestación y fragmentación forestal en la región de la Laguna de Términos, Campeche : un análisis del período 1974-91, *IX Reunión Nacional SELPER-México*, Zacatecas, Zac., 8-9 Oct. 1998.

Mas J.F., 2000, Une revue des techniques et méthodes de télédétection du changement, en prensa, *Canadian Journal of Remote Sensing / Journal Canadien de télédétection*.

McGarigal K., B.J. Marks, 1994, FRAGSTATS, Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure, Oregon State University, 67 p + anexos.

McIntyre N.E., 1995, Effects of forest patch size on avian diversity, *Landscape Ecology*, Vol. 10, n° 2, PP. 85-99.

O'Neill, C.T. Hunsaker, S.P. Timmins, B.L. Jackson, K.B. Jones, K.H. Riitters, J.D. Wickham, 1996, Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale, *Landscape Ecology*, Vol. 11, n° 3, pp. 169-180.

Olmsted I. y R. Durán, 1988. Aspectos ecológicos de los petenes en Florida, Campeche y Quintana Roo. pp. 517-535, En: Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos- División Regional Tabasco. 714 pp.

Olmsted I.C., L.L. Loope y C.E. Hilsenbeck, 1980, Tropical hardwood hammocks of the interior of Everglades National Park and Big Cypress National Preserve, Rept. T-604, Natl. Park Serv. South Florida Research center. Homestead.

Rico-Gray, V., 1982, Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste del Estado de Campeche, México: Los Petenes, *Biótica* 7(2), 171-190.

Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Wickham, J.D., Timmins, S.P., Jones, K.B., y Jackson, B.L., 1995, A factor Analysis of landscape and structure metrics, *Landscape Ecology*, Vol. 10, pp. 23-39.

Robbins, C.S., D.K. Dawson, y B. A. Dowell, 1989, Habitat area requirements of breeding forest birds of the middle atlantic states. Wildl. Monogr. 103, 34 pp.

Rodríguez Rubio J.E., 1992, Petenes en la Península de Zapata, Provincia de Matanzas, Cuba, *Jaina*, 3(4), p. 21.

Saunders D.A., R.J. Hobbs and Margules C.R., 1991, Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review, *Conservation Biology*, 5(1) 18-32.

Schieck J., K. Lertzman, B. Nyberg and R. Page, 1995, Effects of patch Size on Birds in Old-Growth Montane Forests, *Conservation Biology*, 9(5) 1072-1084.

Singh, A., 1989, Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, n° 6, pp. 989-1003.

Singh, A., Harrison, A., 1985, Standardized Principal Components, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, n° 6, pp. 883-896.

Stouffer P.C., R.O. Bierregaard Jr., 1995, Effects of Forest Fragmentation on Understory Hummingbirds in Amazonian Brazil, *Conservation Biology*, 9(5) 1085-1094.

Tuner I.M., 1996, Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence, *Journal of Applied Ecology*, n° 33, pp. 200-209.

Tumer M.G., R.H. Gardner (editores), 1991, *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, Springer, New York.

Wanacott T.H., R.J. Wanacott, 1972, *Statistique*, Ed. Economica, Paris, 919 p.

Welch R. y M. Madden, 1999, Mapping the Evergiades, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 65, n° 2, pp. 163-170.

Yáñez Arancibia A., J.L. Rojas Galavíz, G.J. Villalobos Zapata, D.J. Zárate Lomelí, A.L. Lara Domínguez, E. Rivera Amaga, D. Flores Hernández, F. Arreguín Sánchez, P. Sánchez Gil, J. Sánchez Chávez, J. Ramos Miranda, J. Benítez Torres, C. Bárcenas Pazos, C. Santisbon Montes de Oca, A. Teran Cuevas, M.J. Roberts, E. Saínz Hernández, J. Gutierrez Lara, F. Vera Herrera, T. Saavedra Vázquez, T. Goudea, 1993, Estudio de Declaratoria como Area Ecológica de Protección de Flora y Fauna Silvestre y Acuática de la Laguna de Términos, Campeche, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Desarrollo Social, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, Programa EPOMEX, Vol.!, 11, 111.

## LISTA DE LAS FIGURAS, TABLAS Y ECUACIONES

### LISTA DE LAS FIGURAS

Figura 1 - Localización de la región Los Petenes.	5
Figura 2 - Petén (vista aérea)	6
Figura 3 - Mosaico de parches	8
Figura 4 - Área interior de un parche	10
Figura 5 - Petenes muestreados (Zona norte)	14
Figura 6 - Petenes muestreados (Zona centro)	14
Figura 7 - Fotografía aérea de los Petenes "interpretada"	18
Figura 8 - Mapa de uso del suelo y vegetación	19
Figura 9 - Regresión del logaritmo del perímetro (lnP) contra el logaritmo de la superficie (lnS)	21
Figura 10 - Clasificación jerárquica: Árbol de reagrupamiento de los cúmulos	25
Figura 11- Variación espacial del índice de Simpson	27
Figura 12 - Variación espacial de la densidad de bordes	28
Figura 13 - Curva de acumulación del número de especies observadas vs tiempo de muestreo	29
Figura 14 - Cuadro taxonómico por familias	30
Figura 15 - Número de especies residentes vs área del petén	35
Figura 16 - Número de especies residentes vs distancia al petén vecino más cercano	36
Figura 17 - Número de especies residentes vs índice de forma del petén	36
Figura 18 - Número de especies residentes vs superficie del petén	37
Figura 19 - Análisis factorial (grupos de variables)	38
Figura 20 - Análisis factorial con la variable AREA_VIS	39

### LISTA DE LAS TABLAS

Tabla 1 - Nomenclador de muestreo en Los Petenes de Campeche	15
Tabla 2 - Calendario de las actividades previstas y realizadas	16
Tabla 3 - Salidas de campo	17
Tabla 4 - Superficie y número de parches de los tipos	20
Tabla 5 - Estadísticas e índices de fragmentación de los petenes	22
Tabla 6 - Valores de los índices de forma para círculos de diferentes tamaños	22
Tabla 7 - Coeficiente de correlación entre los índices de fragmentación	23
Tabla 8 - Coeficientes de correlación de Spearman entre los índices de fragmentación	24
Tabla 9 - Características de las 15 clases de petenes	25
Tabla 10 - Características de los petenes de las 5 clases	26
Tabla 11 - Tipos de vegetación adyacentes	26
Tabla 12 - Cuadro taxonómico	29
Tabla 13 - Número de especies migratorias y características de los petenes	30
Tabla 14 - Número de especies residentes y características de los petenes	39
Tabla 15 - Lista florística de la región de Los Petenes	32
Tabla 16 - Características de cada petén	33
Tabla 17 - Correlación entre el número de especies y los índices de fragmentación (esp. migratorias)	34
Tabla 18 - Correlación entre el número de especies y los índices de fragmentación (esp. residentes)	35
Tabla 19 - Análisis factorial	38
Tabla 20 - Análisis factorial con la variable AREA_VIS	38
Tabla 21 - Regresión múltiple (modelo 1)	40
Tabla 22 - Regresión múltiple (modelo 2)	40

### LISTA DE LAS ECUACIONES

(1) - Índice de forma	8
(2) (3) (4) - Dimensión fractal	9
(5) - Índice de proximidad	10
(6) - Índice de diversidad de Simpson	11
(7) - Índice de vegetación	11

# ANEXOS

ANEXO 1. LISTA DE ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN LOS PETENES DE CAMPECHE .....	2
ANEXO 2 - MUESTREO DE VEGETACIÓN	
Introducción .....	6
Sitios de muestreo .....	6
Vías de acceso al área de estudio .....	6
Metodología .....	7
1. Especies por petén .....	7
2. Estructura de la vegetación (petenes) en la región de los petenes .....	11
3. Similitud entre petenes .....	32
4. Lista florística para la region de los petenes .....	34
ANEXO 3. PRODUCTOS ELABORADOS .....	36
ANEXO 4. CLAVES UTILIZADAS EN LAS COBERTURAS ARC/INFO .....	37
1. Mapa de uso del suelo y vegetación .....	37
2. Cobertura de los petenes con sus índices de fragmentación .....	38
3. Cobertura de densidad de bordes (Bordesdens) .....	38
4. Cobertura Simpson .....	38
5. Cobertura carreteras .....	39
6. Cobertura poblados .....	39
7. Cobertura Anp_est .....	39
8. Cobertura Limbio .....	39
ANEXO 5. PROPUESTA DE LIBRO SOBRE LOS PETENES .....	40
ANEXO 6. DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	43
1. Página internet .....	43
2. Publicaciones .....	43
3. Presentaciones en talleres y congresos .....	44
4. Otros .....	45

## ANEXO 1. LISTA DE ESPECIES DE AVES REGISTRADAS EN LOS PETENES DE CAMPECHE

Arreglo sistemático según la A.O.U. 1998

### ORDEN PODICIPEDIFORMES

#### Familia Podicipedidae

Podilymbus podiceps

### ORDEN PELECANIFORMES

#### Familia Pelecanidae

Pelecanus erythrorhynchus

P. occidentalis

#### Familia Phalacrocoracidae

Phalacrocorax auritus

P. brasilianus

#### Familia Anhingidae

Anhinga anhinga

#### Familia Fregatidae

Fregata magnificens

### ORDEN CICONIIFORMES

#### Familia Ardeidae

Tigrisoma mexicanum

Ardea herodias

A. alba

Egretta thula

E. caerulea

E. tricolor

E. rufescens

Bubulcus ibis

Butorides virescens

Nvctanasa vio lacea

Cochlearius cochlearius

#### Familia Threskiornitidae

Eudocimus albus

Ajaia ajaja

#### Familia Ciconidae

Jabiru mycteria

Mycteria americana

#### Familia Cathartidae

Coragyps atratus

Cathartes aura

C. burrovianus

Sarcorampus papa

### ORDEN PHOENICOPTERIFORMES

#### Familia Phoenicopteridae

Phoenicopus ruber

### ORDEN ANSERIFORMES

#### Familia Anatidae

Dendrocygna autumnalis

Cairina moschata

Lophodytes cucullatus

### ORDEN FALCONIFORMES

#### Familia accipitridae

Pandion haliaetus

Rosthamus sociabilis

Ictinea plumbea

Busarellus nericollis

Geranospiza caerulescens

Buteogallus anthracinus

B. urubitinga

Buteo magnirostris

B. lineatus B.

brachyurus

**Familia Falconidae**

Micrastur semitorquatus  
Caracara plancus  
Herpetotheres cachinnans  
Falco sparverius  
*F. ruficularis*

**ORDEN GALLIFORMES**

Familia Caracidae  
Ortalis vetula  
Pemelope purpurascens  
Crax rubra

**Familia Phasianidae**

Meleagris ocellata

**Familia Odontophoridae**

Colinus nigrogularis

**ORDEN GRUIFORMES**

**Familia Rallidae**

Laterallus ruber  
Aramides cajanea  
Fulica americana

**Familia Aramidae**

Aramus guarauna

**ORDEN CHARADRIIFORMES**

**Familia Charadriidae**

Pluvialis squatarola  
Charadrius alexandrinus  
Ch. wilsonia

**Familia Recurvirostridae**

Himantopus mexicanus

**Familia Jacanidae**

Jacana spinosa

**Familia Scolopacidae**

Tringa flavipes  
Catoptroporus semipalmatus  
Gallinago gallinago

**Familia Laridae**

Larus atricilla  
Sterna maxima  
S. sandvicensis

**ORDEN COLUMBIFORMES**

**Familia Columbidae**

Columba flavirostris  
Zenaida asiatica  
Columbina minuta  
C. talpacoti  
Claravis pretiosa  
Leptotila verreauxi  
*L. rufaxilla*  
*L. jamaicensis*  
Geotrygon montana

**ORDEN PSITTACIFORMES**

**Familia Psittacidae**

Aratinga nana  
Amazona albifrons  
A. xantholora

**ORDEN CUCULIFORMES**

**Familia Cuculidae**

Coccyzus americanus  
Piaya cayana  
Geococcyx velox  
Crotophaga sulcirostris

**ORDEN STRIGIFORMES**

**Familia Strigidae**

Bubo virginianus  
Glaucidium brasilianum  
Cicaba virgata

**ORDEN CAPRIMULGIFORMES**

**Familia Caprimulgidae**

Chrodeiles minor  
Nyctidromus albicollis

S

**ORDEN APODIFORMES**

**Familia Apodidae** Chaetura  
vauxi

**Familia Trochilidae**

Chlorostilbon canivetü  
Amazilia yucatanensis  
A. rutila  
A. candida

**ORDEN TROGONIFORMES**

**Familia Trogonidae**

Trogon melanocephalus  
T. violaceus

**ORDEN CORACIFORMES**

**Familia Momotidae**

Momotus momota  
Eumomota superciliosa

**Familia Alcedinidae**

Ceryle torquata  
C. alcyon  
Chloroceryle americana  
Ch. aenea

**Familia Ramphastidae**

Pteroglossus torquatus

**Familia Picidae**

Melanerpes pygmaeus  
M. aurifrons  
Picoides scalaris Piculus  
rubiginosus Caleus castaneus  
Dryocopus lineatus  
Campephilus guatemalensis

**ORDEN PASSERIFORMES**

**Familia Dendrocolaptidae**

Dendrocincla anabatina  
D. homochroa  
Sittasomus griseicapillus  
Dendrocolaptes sanctithomae  
Xiphorhynchus flavigaster

**Familia Thamnophilidae**

Thamnophilus doliatus

**Familia Tyrannidae**

Myiopagis viridicata  
Oncostoma cinereigulare  
Contopus cinereus  
Empidonax minimus  
Pyrocephalus rubinus Attila  
spacideus  
Myiarchus yucatanensis  
M. tuberculifer  
M. tyrannulus  
Pitangus sulphuratus  
Myiozetetes similis  
Tyrannus melancholicus  
Tlcouchii  
T. tyrannus  
T. savana  
Pachyramphus aglaiae  
Tityra semifasciata

**Familia Vireonidae**

Vireo griseus  
V. pallens  
V. flavoviridis  
Cychlarhis gujanensis

**Familia Corvidae**

Cyanocorax yucas C.  
morio  
C. yucatanicus

**Familia Hirundinidae**

Progne subis  
Tachycineta bicolor  
T. albilinea  
Hirundo rustica

**Familia Troglodytidae**

Thryothorus maculipectus

**Familia Sylviinae**

Poliotila caerulea  
P. albiloris

**Familia Turdidae**

*Hylocichla mustelina*  
*Turdus grayi*

**Familia Mimidae**

*Dumetella carolinensis*  
*Melanoptila glabrirostris*  
*Mimus gilvus*

**Familia Parulidae**

*Vermivora pinus*  
*Parula americana*  
*Dendroica petechia*  
*D. erithachorides*  
*D. magnolia*  
*D. coronata*  
*D. towsendi*  
*D. palmarum*  
*D. virens*  
*Mniotilta varia*  
*Setophaga ruticilla*  
*Protonotaria citrea*  
*Seirus aurocapillus*  
*S. noveboracensis*  
*S. motacilla*  
*Oporornis formosus*  
*Geothlypis trichas*  
*Wilsonia citrina*

**Familia Thraupinae**

*Habia rubica*  
*H. fuscicauda*  
*Piranga roseogularis*  
*P. olivacea*  
*Euphonia hirundinacea*

**Familia Emberizidae**

*Volatinia jacarina*  
*Sporophila torqueola*  
*Arremonops rufivirgatus*  
*A. chloronotus*

**Familia Cardinalidae**

*Saltator coerulescens*  
*S. maximus*  
*S. atriceps*  
*Cardinalis cardinalis*  
*Cyanocompsa parellina*  
*Guiraca caerulea*  
*Passerina cyanea*

**Familia Icteridae**

*Agelaius phoeniceus*  
*Dives dives*  
*Quiscalus mexicanus*  
*Icterus dominicensis prostemelas*  
*I. spurius*  
*I. cucullatus*  
*I. chrysater*  
*I. mesomelas*

## ANEXO 2 - MUESTREO DE VEGETACIÓN

### INTRODUCCIÓN

El paisaje de la región de los Petenes en Campeche está formado por diferentes ecosistemas o humedales como son manglares en sus diferentes modalidades (Trejo-Torres, et al. 1993), zacatales representados por comunidades de tulares (*Typha dominguensis*), chechenales, (*Metopium brownei*) botoncillonal (*Conocarpus erecta*), selva baja subperennifolia (inundable) y petenes. Este último son comunidades vegetales compuestas por elementos florísticos de mangle y de selvas. La zona ha sido estudiada desde hace más de una década desde el punto de vista florístico y diversidad (Rico-Gray 1982 y Durán 1987 y 1995). Sin embargo el conocimiento de la vegetación y la distribución de las especies en las diferentes comunidades vegetales es aún fragmentario.

El muestreo de quince petenes ayudó a obtener más información y darse una idea de la distribución de esta heterogeneidad de especies, es decir si se distribuyen homogéneamente en el espacio de la región de los petenes.

Este estudio pretende hacer una caracterización con criterios fisonómicos y florísticos, enfatizando la distribución y cambio de especies en las diferentes comunidades vegetales. El área de estudio abarca la zona norte y centro de la región de los petenes, se ubican en la porción noroeste del estado de Campeche.

### SITIOS DE MUESTREO

Se seleccionaron quince petenes de estudio que representan petenes de manglar y de selva. Los primeros se encuentran en la zona norte del área de estudio que corresponden a los siguientes petenes como son: el remate, el aborto, el gemelo y el sapote; en la zona centro tenemos a Los X'kilies, Los Loros, Los Pumas, Otro Petén, Las Ilusiones, La Curva, Las Cojolitas, Las Botas, Los Loros (parte quemada), Los Sedientos y el Micropetén. En cada uno de las comunidades vegetales (petén) se hace una breve descripción.

### VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO.

Hay tres vías de acceso a la región de los petenes. La más usada es la que parte del poblado de Kalkiní, pasando por Nunkiní, Santa María, el "Remate" y llegar a Isla Arena. Es la más transitada debido a que esta asfaltada y por la gente que vive en este último lugar. La segunda vía de acceso empieza en el poblado de Pomuch, de aquí sale un camino de terracería hacia Sotdzil. Después de este poblado se empieza a introducir lo que es ya el área de los petenes para llegar a Isla Jaina. La tercera y última ruta es aquella que sale del poblado de Tenabo rumbo a la granja camaronera que tiene 27.5 km de distancia que corresponde la zona sur del área que es camino de terracería.

## METODOLOGÍA

El criterio utilizado para elegir los muestreos en cada una de las comunidades (petenes) fue de que tuviera la mínima perturbación (ya sea natural o antropogénica). En cada una de ellas se establecieron cuadros de 20 x 20 m. En cada cuadro se tomaron en cuenta los individuos arbóreos que midieron igual o más de 5.0 cm de diámetro a la altura del pecho (D.A.P.). También se hicieron observaciones como altura de los individuos, árboles muertos en pie y caídos.

Para el análisis de la estructura vegetación se tomaron parámetros como área basal, se midió la densidad de los árboles en categorías diamétricas a partir de 5 cm en adelante. Para determinar la densidad, frecuencia, dominancia y relativa por especie, y con esto los índices de valor de importancia (Mueller-Bombois y Ellenberg, 1974). También se analizó el coeficiente de similitud de Sorensen.

### 1. ESPECIES POR PETÉN

#### **Petén El Remate**

*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Ficus obtusifolia*  
*Gymnanthes lucida*  
*Laguncularia racemosa*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Rhizophora mangle*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*  
*Tabernaemontana sp.*  
*Talisia olivaeformis*

#### **Peten Los gemelos**

*Annona glabra*  
*Diospyros verae-crucis*  
*Ficus obtusifolia*  
*Krugiodendron ferreum.*  
*Laguncularia racemosa*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Rhizophora mangle*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*  
*Tabebuia rosea*  
*Talisia olivaeformis*

#### **Peten El Aborto**

*Ficus maxima*  
*Laguncularia racemosa*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Rhizophora mangle*  
*Sabal yapa*  
*Tabebuia rosea*

#### **Peten El Zapote**

*Ficus maxima*  
*Laguncularia racemosa*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Rhizophora mangle*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*  
*Tabebuia rosea*

### Petén Los X'kilies

*Árbol (hoja lancelada)*  
*árbol (hoja peluda envés)*  
*Arbol (hoja pequeña)*  
*árbol (parecido a*  
*Hippocratea)*  
*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Ficus maxima*  
*Lonchocarpus sp.*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Ponteria unilocularis*  
*Sabal yapa*  
*Talisia olivaeformis*

### Petén Los Loros

*Acacia sp.*  
*árbol (capparidaceae)*  
*árbol (desconocido)*  
*árbol (hoja peluda)*  
*árbol (parecido Rapanea)*  
*Avicennia germinan*  
*Bursera simaruba*  
*Bursera simaruba*  
*Ficus maxima*  
*Hampea trilobata*  
*Hampea trilobata*  
*Laguncularia racemosa*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Piscidia piscipula*  
*Sabal yapa*  
*Talisia lovaeformis*

### Petén Los Pumas

*Bursera simaruba*  
*Cameraria latifolia*  
*Ficus obtusifolia*  
*Gymnanthes lucida*  
*Laguncularia racemosa*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*  
*Talisia olivaeformis*  
*Zuelania guidonia*

### Otro Petén

*Bursera simaruba*  
*Ficus obtusifolia*  
*Laguncularia racemosa*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Sabal yapa*

**Petén de la curva**

*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Ficus máxima*  
*Gymnanthes lucida*  
*Laguncularia racemosa*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
**Sabal yapa**

**Petén Las Cojolitás**

*Avicennia germinans*  
*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Conocarpus erecta*  
*Diospyros cuneata*  
*Ficus maxima*  
*Gymnanthes lucida*  
*Hampea trilobata*  
*Laguncularia racemosa*  
*Laguncularia racemosa*  
*Lonchocarpus sp.*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Manilkara :apoca*  
*Metopium brownei*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Sabal mexicana*  
*Sabal yapa*  
*Sabal yapa*  
*Sideroxylon americanum*  
*Swietenia macrophylla*  
*Swietenia macrophylla*

**Petén Los Loros**

parte quemada Peten en 1990 (acahual)

*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Diospyros verae-crucis*  
*Ficus obtusifolia*  
*Gymnanthes lucida*  
*Hampea trilobata*  
*Lysiloma lalisiliquum*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Swietenia macrophylla*

**Petén Las Botas**

*Avicennia germinans*  
*Bursera simaruba*  
*Gymnanthes lucida*  
*Gymnanthes lucida*  
*Hampea trilobata*  
*Jackinia aurantiaca*  
*Lonchocarpus rugosus*  
*Lonchocarpus sp*  
*Lysiloma lalisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Ponteria unilocularis*  
*Rhizophora mangle*  
*Sabal mexicana*  
*Sabal yapa*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*

**Petén Las Ilusiones**

*Bravaisia berlandieriana*  
*Bursera simaruba*  
*Ficus obtusifolia*  
*Gymnanthes lucida*  
*Hampea trilobata*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Sabal yapa*  
*Swietenia macrophylla*  
*Tabebuia rosea*

**Petén**

**Los Sedientos**

*Bursera simaruba*  
*Diospyros verae-crucis*  
*Ficus obtusifolia*  
*Gymnanthes lucida*  
*Krugiodendron ferreum*  
*Laguncularia racemosa*  
*Lysiloma latisiliquum*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Piscidia piscipula*  
*Ponteria unilocularis*  
*Sabal yapa*  
*Siderozylon americanum*  
*Talisia olivaeformis*

**Micropetén**

*Avicennia germinans*  
*Cameraria latifolia*  
*Capparis cynophallophora*  
*Diospyros verae-crucis*  
*Manilkara zapota*  
*Metopium brownei*  
*Sabal yapa*

## 2. ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN (PETENES) EN LA REGIÓN DE LOS PETENES

### 1. Petén "El Remate"

Esta comunidad vegetal se localiza principalmente en un terreno más bajo que queda inundado en la época de lluvias con algunas elevaciones muy suaves. Presencia de mucha materia orgánica, suelo fangoso. Fisonómicamente es un bosque perennifolio con árboles que alcanzan tallas hasta de 25 m de altura; con la mayoría de los troncos rectos, gran parte de los árboles se observa con raíces aéreas o raíces zancudas; con una cobertura abierta en el estrato más alto. Estructuralmente está dominado por un estrato arbóreo de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo) acompañados por *Manilkara zapota* (sapote), *sabal yapa* (guano) que fueron los más comunes. El estrato arbustivo se compone principalmente de *Bravaisia berlandieriana* (julub) y de plantas jóvenes del estrato arbóreo. El estrato herbáceo está prácticamente ausente. Su composición florística es muy simple, pues no existen muchas especies que soporten condiciones extremas de mal drenaje. El estado de perturbación se debe a fenómenos naturales como caída de árboles.

Tabla 1 - Especies registradas (Petén El Remate)

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Bravaisia berlandieriana</i>	1	0.5
<i>Bursera simaruba</i>	1	0.5
<i>Ficus obtusifolia</i>	5	3.0
<i>Gymnanthes lucida</i>	1	0.5
<i>Laguncularia racemosa</i>	80	42.3
<i>Manilkara zapota</i>	17	9.0
<i>Metopium brownei</i>	9	5.0
<i>Rhizophora mangle</i>	50	26.4
<i>Sabal yapa</i>	11	6.0
<i>Swietenia macrophylla</i>	3	1.5
<i>Tabernaemontana</i> sp.	1	0.5
<i>Talisia olivaeformis</i>	10	5.2
TOTAL	189	

## 2. Petén "El Aborto"

Las condiciones donde se desarrolla esta comunidad vegetal son las mismas donde se encuentra el petén anterior. Es una comunidad con algunos árboles que llegan a medir hasta 25 m de altura, representado por individuos más vigorosos como *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y esporádicamente de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) que no llegan a formar un estrato continuo. El tamaño de los árboles más frecuentes esta entre los 10 y 20 m de altura. En el estrato arbustivo las especies más abundantes y fisonómicamente menos importantes son *Bravaisia berlandieriana* (julub) y esporádicamente a *Malvaviscus arboreus*. En el estrato herbáceo es muy común la presencia *Acrostichum danaeifolium* que es un helecho de manglar. La cobertura del estrato arbóreo es bastante dispersa, mientras que la cobertura es mayor en el estrato arbustivo. Las especies que se presentan con mayor número de individuos son *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Manilkara zapota* (sapote), *Sabal yapa* (guano) y *Ficus obtusifolia*. En este petén se observó muchos individuos de palmas pequeñas, árboles muertos en pie y áreas abiertas.

Tabla 2 - Especies registradas (Petén El Aborto)

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Ficus obtusifolia</i>	15	12.0
<i>Laguncularia racemosa</i>	48	38.4
<i>Manilkara zapota</i>	34	27.2
<i>Metopium brownei</i>	1	0.8
<i>Rhizophora mangle</i>	8	6.4
<i>Sabal yapa</i>	17	14.0
<i>Tabebuia rosea</i>	2	2.0
TOTAL	125	

### 3. Petén "El Gemelo"

Esta formado por un bosque de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo) ya que ellos son los que más predominan por las condiciones favorables del lugar. Se desarrolla sobre terrenos bajos con algunas ligeras elevaciones, y es aquí donde se encuentran otros elementos florísticos de selvas. Fisonómicamente se encuentran árboles que llegan a medir hasta 25 m de altura principalmente de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco); los árboles tienen fustes rectos, la mayoría de ellos con corteza fisurada y lisas con hojas perennes. Estructuralmente esta formado por un estrato arbóreo bajo (8 a 12 m de altura), un estrato medio (12 a 17 m de altura) y uno alto (18 m o más de altura); y son las mismas especies que se encuentran en estos tres niveles tales como *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Manilkara zapota* (sapote), *Sabal yapa* (guano), *Annona glabra*, *Ficus obtusifolia* y *Talisia olivaeformis* (guaya). En el estrato arbustivo se puede observar a *Bravaisia berlandieriana* (julub) y escasamente a *Malvaviscus arboreus*. Presenta árboles muertos en pie, troncos caído, además de manchones densamente poblados por individuos jóvenes de *Rhizophora mangle*.

**Tabla 3 - Especies registradas (Petén El Gemelo)**

Espece	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Annona glabra</i>	5	2.1
<i>Diospyros verae-crucis</i>	2	0.8
<i>Ficus obtusifolia</i>	4	1.7
<i>Krugiodendron_f erreum.</i>	1	0.4
<i>Laguncularia racemosa</i>	114	50.0
<i>Manilkara zapota</i>	15	6.5
<i>Metopium brownei</i>	1	0.4
<i>Rhizophora mangle</i>	72	12.0
<i>Sabal yapa</i>	10	4.3
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	0.4
<i>Tabebuia rosea</i>	1	0.4
<i>Talisia olivaeformis</i>	3	1.3
TOTAL	229	

#### 4. Petén "El Sapote"

Esta comunidad se halla sobre terrenos bajos que se inundan en la temporada de lluvias, con ligeras elevaciones que soporta una vegetación arbórea baja y abierta. Fisonómicamente la altura máxima de este petén esta entre los 10 y 15 m, aunque predominan los árboles con tallas entre los 5 y 10 m de altura; ocasionalmente se encontró algunos árboles emergentes dispersos que llegaban a medir hasta 20 m de altura principalmente de *Manilkara zapota* (sapote) y *Sabal mexicana* (guano); típicamente los árboles son rectos y delgados. Estructuralmente se encuentra un sólo estrato arbóreo donde la especie más frecuente es *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo). El estrato arbustivo lo compone individuos de mangle rojo principalmente en los sitios bajos inundados. El estrato herbáceo está dominado por *Cladium jamaicense* (navajuela) y *Acrostichum danaeifolium*, que llegan a ser abundantes y en ocasiones se agrupan en manchones en aquellos lugares con pocos árboles. Este petén esta deteriorado, tiene árboles muertos en pie, algunos de ellos presentan retoños.

**Tabla 4 — Especies registradas (Petén El Sapote)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Ficus obtusifolia</i>	7	3.0
<i>Laguncularia racemosa</i>	105	41.5
<i>Manilkara zapota</i>	10	4.0
<i>Metopium brodiaei</i>	3	1.1
<i>Rhizophora mangle</i>	74	29.2
<i>Sabal yapa</i>	30	12.0
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	0.7
<i>Tabebuia rosca</i>	22	9.0
TOTAL	253	

### 5. Petén "Los X'killies"

Este bosque se desarrolla en terrenos más elevados que los anteriores, con inundaciones sólo en pequeñas hondonadas que se encuentran en el interior de este petén. Los suelos son arcillosos y con materia orgánica. Es la comunidad vegetal más heterogénea en cuanto a sus especies que la conforman y ser abiertos o densos. La fisonomía de este petén se caracteriza por un estrato alto que alcanza los 20 m, la especie más abundante es *Metopium brownei* (chechem negro) y *Bursera simaruba* (chaka'); los fustes son rectos. Estructuralmente se encuentran tres estratos arbóreos, uno de 5-10 m, uno medio de 11-15 m y uno de 16 a 20 m de altura y algunos que llegan alcanzar hasta 25 m. El estrato arbustivo lo compone *Bravaisia berlandieriana* (julub). su presencia es nula en lugares mejores conservados, pero en áreas abiertas forma un sotobosque denso en donde algunos individuos tienen comportamiento de árboles; las epífitas vasculares no son abundantes y crecen preferentemente sobre los grandes árboles, es muy frecuente observar en los fustes de los individuos de *Sabal yapa* (Guano) tapizados por musgos. En el estrato herbáceo es muy común la presencia de plántulas de *Bravaisia berlandieriana* (julub) y de los mismos árboles. También se tiene la presencia *Leiphaimos parasitiaca* planta saprófita muy común en todos los petenes de selva.

Tabla 5 — Especies registradas (Petén Los X'Killie)

Espece	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
Arbol (hoja pequeña)	1	0.2
Blomia sapinda	1	0.2
Bravaisia berlandieriana	20	5.4
Bursera simaruba	46	12.5
Elaeodendron trichotomum	6	2.0
Ficus obtusifolia	4	1.0
Krugiodendron ferreum	2	0.5
Lysiloma latisiliquum	34	9.2
Manilkara zapata	16	4.3
Metopium brownei	156	42.2
Piscidia piscipula	52	14.0
Sabal yapa	26	7.0
Talisia olivaejormis	3	0.8
Zuelania guidonia	2	0.5
TOTAL	369	

## 6. Petén "Los Loros"

Esta comunidad vegetal es uno de los más grandes de todos los petenes muestreados, quizá el más importante en la zona de estudio, no solamente porque ocupa una mayor superficie, sino también porque es en él donde prospera un mayor número de especies vegetales. Hay elementos florísticos que participan con mucha frecuencia. Fisonómicamente el bosque mide de 10 a 20 m de alto y la cobertura del estrato superior no es continuo en todo el área que ocupa este petén por las condiciones de disturbio. Estructuralmente participan los estratos arbóreo, arbustivo y escasamente el herbáceo. El escaso crecimiento de plantas herbáceas, es debido a la buena cobertura del estrato arbóreo y del arbustivo. Dentro de este petén hay sitios con una cubierta vegetal cerrada pero los hay también abiertas es decir con árboles dispersos. En estas áreas abiertas suelen estar ocupadas por estrato arbustivo bastante denso donde es común encontrar a *Bravaisia berlandieriana* (julub). Este petén se encuentra cortado por la carretera de terracería que va a Isla Jaina, ésta ha permitido una mayor accesibilidad a las actividades forestales que es la que más se refleja en este petén.

Tabla 6 — Especies registradas (Petén Los Loros)

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
Acacia sp.	1	0.1
Avicennia germinans	1	0.1
Bravaisia berlandieriana	2	0.2
Bursera simaruba	24	3.0
Capparis cynophallophora	1	0.1
Ficus obtusifolia	2	0.2
Gymnanthes lucida	211	26.2
Hampea trilobata	22	3.0
Laguncularia racemosa	13	1.6
Lysiloma latisiliquum	4	0.4
Manilkara zapota	318	39.5
Metopium brownei	39	5.0
Piscidia piscipula	35	4.3
Sabal yapa	120	14.9
Swietenia macrophylla	3	0.3
Talisia oliverorum	7	0.8
Zuelama guldonia	2	0.2
TOTAL	805	

El petén Los loros tiene una parte que fue quemada al principio de los años 90' y que presenta una vegetación secundaria de tipo acahual.

Tabla 7 — Especies registradas (Petén "los Loros" parte quemada)

Espece	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
Arbol (desconocido)	1	1.0
Bravaisia berlandieriana	2	2.0
Bursera simaruba	20	20.4
Diospyros verae-crucis	1	1.0
Ficus obtusifolia	3	3.0
Gymnanthes lucida	1	1.0
Hampea trilobata	2	2.0
Lysiloma latisiliquum	1	1.0
Metopium brownei	26	27.0
Piscidia piscipula	40	41.0
Swietenia macrophylla	1	1.0
TOTAL	98	

### 7. Petén "Los Pumas"

Es una comunidad vegetal en el que predomina la especie de *Manilkara zapota* (sapote), ocupa suelos más elevados con poca inundación. Fisonómicamente es un bosque perennifolio, sus componentes florísticos que la componen van de 8 a 15 m de altura, con fustes rectos y de buena cobertura. Tiene una estructura relativamente uniforme, pues el sapote es el único dominante en el estrato arbóreo. El estrato arbustivo lo compone *Bravaisia berlandieriana* (julub), principalmente, y de manera esporádica se encuentran *Jacquinia macrocarpa* y *Malvaviscus arboreus*. En este bosque no se descarta la actividad forestal para los indicios de árboles de *Manilkara zapota* (sapote) cortados.

**Tabla 8 — Especies registradas (Petén Los Pumas)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa C%)
<i>Bursera simaruba</i>	12	6.5
<i>Cameraria latifolia</i>	1	0.5
<i>Ficus obtusifolia</i>	1	0.5
<i>Gymnanthes lucida</i>	15	8.1
<i>Laguncularia racemosa</i>	6	3.2
<i>Manilkara zapota</i>	126	69.0
<i>Metopium brownei</i>	7	4.0
<i>Piscidia piscipula</i>	1	0.5
<i>Sabal yapa</i>	8	4.3
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	0.5
<i>Talisia olivaeformis</i>	2	1.0
<i>Zuelania guidonia</i>	3	2.0
<b>TOTAL</b>	<b>183</b>	

### 8. Petén "Otro petén"

Este petén se encuentra al lado del anterior, es un bosque en que la especie arbórea más abundante es *Manilkara zapota* (sapote) y *Sabal yapa* (guano). Fisonómicamente los individuos alcanzan alturas máximas de 15 m, de fustes rectos y delgados; con una cobertura arbórea dispersa. Esto permite que haya una mayor cantidad de individuos de *Bravaisia berlandieriana* (julub) que es una planta arbustiva. El estrato herbáceo esta compuesto por plántulas de las especies arbóreas, pero la mayoría de ellas son de julub. Este bosque se encuentra perturbado, tiene muchos árboles muertos en pie.

**Tabla 9 — Especies registradas (Petén Otro Petén)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Bursera simaruba</i>	2	2.1
<i>Ficus obtusifolia</i>	2	2.1
<i>Laguncularia racemosa</i>	3	3.2
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	1	1.0
<i>Manilkara zapota</i>	63	68.4
<i>Metopium brownei</i>	4	4.3
<i>Piscidia piscipula</i>	4	4.3
<i>Sabal yapa</i>	13	14.1
TOTAL	92	

**10. Petén "Las Ilusiones"**

Este petén se encuentra a la altura del km 15. Se desarrolla sobre suelos con mucha materia orgánica. Esta comunidad vegetal esta dominada por *Metopium brownei* o chechem negro, en general presenta una altura de hasta 25 m y los troncos de los árboles son rectos en su mayoría. Presenta poco variedad de formas de vida y crecimiento que probablemente se vean favorecidas por los diversos disturbios causados por el hombre y de fenómenos naturales; así por ejemplo, se encuentran plantas de *Bravaisia berlandieriana* (julub) creciendo y que han llegado alcanzar las primeras clases de diámetro y alturas hasta de 4 m.. que normalmente esta planta se encuentra del tamaño de arbusto. También se encuentran en esta comunidad algunas epífitas y orquídeas que requieren de mayor humedad. Estructuralmente esta formado por dos estratos arbóreos con alturas de 10 a 15 m y de 16 a 20 m, un estrato arbustivo representada por *Bravaisia berlandieriana* (julub). Las clases diamétricas de 5 a 10 cm es la mejor representada con 60 individuos y el diámetro máximo registrado fue de 65 cm con uno o dos individuos .

**Tabla 11 — Especies registradas (Petén Las Ilusiones)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Bravaisia berlandieriana</i>	34	11.0
<i>Bursera simaruba</i>	43	14.0
<i>Ficus obtusifolia</i>	14	4.5
<i>Gymnanthes lucida</i>	5	2.0
<i>Hampea trilobaia</i>	1	0.3
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	26	8.4
<i>Manilkara capota</i>	18	6.0
<i>Metopium hrownei</i>	126	41.0
<i>Piscidia piscipula</i>	4	1.3
<i>Sabal yapa</i>	14	4.5
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	0.3
<i>Tabebuia rosea</i>	1	0.3
TOTAL	287	

### 11. Petén "La Curva"

Este es otro de los petenes grandes afectado por la construcción del camino de terracería que conduce a Isla Jaina. Esta comunidad se compone principalmente de individuos de la especie de *Metopium brownei* (chechem negro), otras especies menos frecuentes son: *Gymnanthes lucida* (phi), *Bursera simaruba* (chaka') y *Piscidia piscipula* (jabín). En el estrato arbustivo abundan individuos de *Bravaisia berlandieriana* (julub), ésta ha llegado alcanzar la primera clase diamétrica. Fisonómicamente es una comunidad de alturas no mayor de 20 m; los troncos de los árboles rectos y sobre ellos se observan plantas epífitas donde destacan algunas bromelias y orquídeas. Estructuralmente se distinguen varios estratos arbóreos. El estrato arbustivo esta compuesto por *Bravaisia berlandieriana* (julub) con algunos individuos de aspecto de árboles pequeños. Las dos primeras clases diamétricas es la mejor representada. El diámetro máximo alcanzado no rebasa los 44 cm y sólo con dos individuos.

Tabla 12 — Especies registradas (Petén La Curva)

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Bravaisia berlandieriana</i>	3	1.5
<i>Bursera simaruba</i>	9	5.0
<i>Ficus obtusifolia</i>	2	1.0
<i>Gymnanthes lucida</i>	25	13.1
<i>Launcularia racemosa</i>	4	2.1
<i>Lysiloma latisiliauum</i>	3	1.5
<i>Manilkara zapota</i>	5	3.0
<i>Metopium brownei</i>	118	62.1
<i>Piscidia niscinula</i>	7	4.0
<i>Sabal yapa</i>	4	2.1
TOTAL	180	

## 12. Petén "Las Cojolititas"

Esta comunidad vegetal se desarrolla en suelo poco profundo, de color negro, con una buena cantidad de materia orgánica. Fisonómicamente la mayoría de los árboles tienen los troncos rectos, pero algunos llegan a tener ramificaciones cerca de la base. La vegetación está compuesta por árboles bajos de 10 a 12 m de altura pero hay uno que otro elemento florístico que alcanza los 15 m; en su mayor parte tiene una cobertura abierta. Las epífitas están poco representadas. Estructuralmente se presenta un solo estrato arbóreo, en donde *Manilkara zapota* (zapote) se presenta con mayor número de individuos. El arbustivo está representado por *Bravaisia berlandieriana* (julub) que alcanza una altura no mayor de 2 m, aunque se encontró individuos con aspecto de pequeños árboles. El estrato herbáceo está constituido por escasas plántulas de los mismos árboles, éstas las observamos en aquellos lugares con una cobertura poco cerrada. Es importante decir que en este petén se encuentran muchos individuos jóvenes de *Swietenia macrophylla* (caoba) cuyos fustes alcanzan las primeras clases diamétricas, esto nos indica que existe una regeneración de la especie. El diámetro máximo alcanzado por algunos fustes es de 68 cm y la quinta y sexta clase diamétrica es la mejor representada.

**Tabla 13 — Especies registradas (Petén Las Cojolititas)**

Espece	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
Arbol (END 3)	1	0.2
Arbol (caducifolio)	2	0.5
<i>Avicennia germinan</i>	3	0.8
<i>Bravaisia berlandieriana</i>	2	0.5
<i>Bursera simaruba</i>	8	2.2
<i>Conocarpus erecta</i>	1	0.2
<i>Diospyros verae-crucis</i>	2	0.5
<i>Ficus sp.</i>	3	0.8
<i>Gymnanthes lucida</i>	13	4.0
<i>Hampea trilobata</i>	1	0.2
<i>Krugiodendron ferreum</i>	6	2.0
<i>Laguncularia racemosa</i>	1	0.2
<i>Manilkara zapota</i>	139	39.0
<i>Metonium brownii</i>	50	14.0
<i>Piscidia piscinula</i>	13	4.0
<i>Sabal mexicana</i>	3	0.8
<i>Sabal vapa</i>	78	22.0
<i>Sideroxylon americanum</i>	19	5.3
<i>Swietenia macrophylla</i>	13	4.0
TOTAL	358	

### 13. Petén "las Botas"

Es una comunidad vegetal de tamaño considerable. El terreno que es ocupado por esta comunidad presenta pequeñas hondonadas. Los suelos con mayor cantidad de hojarasca y de materia orgánica. Su característica distintiva es la altura de sus árboles, de 10 a 20 m de altura, aunque algunos ejemplares alcanzan los 25 m, con una cobertura de 80 %. Algunas plantas del estrato arbóreo que se encuentran en esta comunidad vegetal tienen hojas caducas en alguna época del año, como ejemplo tenemos a *Bursera simaruba* (chaka'), *piscidia piscipula* (jabin), *Lysiloma latisiliquum* (Tsalam). Los fustes de los árboles son rectos y por lo general de corteza lisa y escamosa de este último por la especie dominante de *Metopium broxnei* (chechem) que tipifica el paisaje. Estructuralmente el estrato arbóreo se presenta se encuentran diferentes.

**Tabla 14 — Especies registradas (Petén Las Botas)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>Ponteria unilocularis</i>	2	0.3
<i>Jackinia aurantiaca</i>	2	0.3
<i>Krugiodendrum ferreum</i>	18	3.2
<i>Avicennia germinans</i>	59	11.0
<i>Bursera simaruba</i>	37	7.0
<i>Phithecellobium stevensonii</i>	19	3.4
<i>Gymnanthes lucida</i>	73	13.3
<i>Hampea trilobata</i>	1	0.1
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	21	3.8
<i>Manilkara zapota</i>	51	9.3
<i>Metopium brownei</i>	220	40.2
<i>Piscidia piscipula</i>	8	1.4
<i>Rhizophora mangle</i>	4	0.7
<i>Saba! mexicana</i>	3	0.5
<i>Sabal yapa</i>	9	2.0
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	0.1
<i>Talisia olivaeformis</i>	1	0.1
<b>TOTAL</b>	<b>529</b>	

#### 14. Petén "los Sedientos"

El terreno donde se desarrolla la comunidad es ligeramente ondulado, con inundaciones sobre pequeñas hondonadas. El suelo es de color negro, con mucha materia orgánica. Es una comunidad que presenta un buen número de especies y de manera general presenta una cobertura densa. Fisonómicamente se caracteriza por la dominancia de las especies como *Manilkara zapota* (sapote), *Metopium brownei* (chechem negro) y *Gymnanthes lucida* (phii) que son árboles perennifolios pero también se encuentran árboles con hojas caducas en alguna época del año, entre ellos *Bursera simaruba* (chaká) y *Piscidia piscipula* (jabín). La altura máxima de algunos árboles es de hasta 20 m, pero la mayoría de sus componentes están entre 18 y 15 m o menos de altura; los fustes son rectos y delgados. Estructuralmente los componentes arbóreos de las diferentes especies se encuentran a diferentes alturas por la que conforman dos estratos, el arbustivo esta representado por la especie *Bravaisia berlandieriana* (julub) escasamente representado. Las especies que se presentan con mayor número de individuos en orden descendente son: *Gymnanthes lucida* (phii), *Metopium brownei* (chechem negro) y *Manilkara zapota* (sapote). En este petén se encontraron árboles muertos en pie o caídos, debido a fenómenos naturales. Esta comunidad vegetal esta poca perturbada y es por fenómenos naturales.

**Tabla 15 – Especies registradas (Petén Los Sedientos)**

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
Arbol (caducifolio)	1	0.3
Bursera simaruba	5	2.0
Diospyros verae-crucis	1	0.3
Ficus obtusifolia	2	0.7
Gymnanthes lucida	95	33.5
Krugiodendron ferreum	6	2.1
Laguncularia racemosa	1	0.3
Lysiloma latisiliquum	1	0.3
Manilkara zapo/a	61	21.5
Metopium brownei	81	29.0
Piscidia piscipula	12	4.2
Ponteria unilocularis	2	0.7
Sabal yapa	6	2.1
Sideroxylon americanum	3	1.0
Talisia olivaeformis	6	2.1
<b>TOTAL</b>	<b>283</b>	

**15. Petén "Micropetén"**

El área que ocupa esta comunidad vegetal es muy pequeña. Se establece sobre un terreno que tiene un desnivel de un metro de altura, suelo con materia orgánica. Esta comunidad esta compuesta por árboles bajos de 10 m de altura, en él se encontraron 55 elementos florísticos, donde *Manilkara zapota* (sapote) es la mejor representada. El estrato arbustivo es denso formado por *Bravaisia berlandieriana* (julub). Se encontraron árboles muertos en pie.

Tabla 16 – Especies registradas (Petén Micropetén)

Especie	Núm. de indiv.	Densidad relativa (%)
<i>A vicennia germinan</i>	9	16.3
<i>Cameraria latifolia</i>	2	4.0
<i>Capparis cynophallophora</i>	1	2.0
<i>Diospyros verae-crucis</i>	4	7.2
<i>Manilkara zapota</i>	34	62.0
<i>Metopium brownei</i>	3	5.4
<i>Sabal yapa</i>	2	4.0
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	

### 3. SIMILITUD ENTRE PETENES

Con el fin de comparar la composición florística de los petenes, se calculó el número total de especies de árboles por petén (tabla 17) y el índice de similitud de Sorensen.

**Tabla 18 - Índice de similitud de Sorensen**

Pareja de petenes	Núm. de esp. comunes	Índice de Similitud	Pareja de retenes	Núm. De esp. comunes	Índice de Similitud
remate/aborto	6	63.1	bot/remate	8	55.2
gemelo/remate	8	67.0	bot/aborto	4	33.3
gemelo/aborto	7	74.0	bot/gemelo	6	55.2
sapote/remate	7	70.0	bot/sapote	5	40.0
sapote/aborto	7	93.3	bot/X'killes	8	50.0
sapote/gemelo	8	80.0	bot/loros	11	65.0
X'killes/remate	7	26.0	bot/pumas	8	55.2
X'killes/aborto	4	36.4	bot/otro p	6	48.0
X'killes/gemelo	6	44.4	bot/ilus	9	62.1
X'killes/sapote	4	35.0	bot/curva	7	52.0
loros/remate	10	69.0	bot/coj	10	55.5
loros/aborto	5	42.0	sed/remate	8	59.2
loros/gemelo	7	48.3	sed/aborto	5	45.4
loros/sapote	6	48.0	sed/gemelo	8	59.2
loros/X'killes	10	62.5	sed/sapote	5	43.5
pumas/remate	9	75.0	sed/X'killes	10	67.0
pumas/aborto	5	53.0	sed/loros	10	52.5
pumas/gemelo	7	58.3	sed/pumas	9	67.0
pumas/sapote	6	60.0	sed/otro p	8	69.6
pumas/X'killes	8	59.2	sed/ilus	8	59.2
pumas/loros	11	76.0	sed/curva	9	72.0
Otro p/remate	6	60.0	sed/coj	11	65.0
Otro p/aborto	5	67.0	sed/bot	9	56.2
Otro p!gemelo	5	50.0	micr/remate	3	31.2
Otro p/sapote	5	62.5	micr/aborto	3	43.0
Otro p/X'killes	7	61.0	micr/gemeo	4	42.1
Otro p/loros	8	64.0	micr/sapote	3	40.0
Otro p/pumas	7	70.0	micr/X'killes	3	27.3
Ilus/remate	8	67.0	micr/loros	5	42.0
Ilus/aborto	5	53.0	micr/pumas	4	42.1
Ilus/gemelo	6	50.0	micr/otro p	3	40.0
Ilus/sapote	6	60.0	micr/ilus	3	31.6
Ilus/X'killes	8	59.2	micr/curva	3	35.3
Ilus/loros	11	76.0	micr/coj	5	38.5

---

Ilus/pumas	8	67.0	micr/bot	4	33.3
Bus/otro p	7	70.0	micr/sed	4	36.4
curva/remate	8	73.0	que/remate	6	51.2
curva/aborto	5	59.0	que/aborto	2	22.2
curva/gemelo	5	45.4	que/gemelo	4	35.0
curva/sapote	5	55.5	que/sapote	3	31.6
curva/X'killes	8	64.0	que/X'killes	6	46.1
curva/loros	10	74.1	que/loro	9	64.3
curva/pumas	8	73.0	que/pumas	6	52.2
curva/otro p	8	89.0	que/otro p	5	53.0
curvalilus	9	82.0	que/ilus	9	78.3
coj/remate	8	52.0	que/curva	7	67.0
coj/aborto	3	32.1	quelcoj	8	53.3
coj/gemelo	7	45.2	que/bot	7	50.0
coj/sapote	5	37.0	que/sed	7	54.0
coj/X'killes	7	41.2	que/micr	2	22.2
coj/loros	11	61.1	-	-	-
coj/pumas	8	52.0	-	-	-
coj/otro p	6	44.4	-	-	-
coj/ilus	9	58.1	-	-	-
coj/curva	8	55.2	-	-	-

---

**4. LISTA FLORISTICA PARA LA REGION DE LOS PETENES**

Las familias para Magnoliopsida se basa en el sistema de clasificación de Cronquist (1981) y para Liliopsida en Dahlgren *et al.* (1985).

**DIVISION MAGNOLIOPHYTA  
 CLASE MAGNOLIOPSIDA** **NOMBRE EN MAYA O ESPAÑOL**

**Acanthaceae**

*Bravaisia berlandieriana* (Nees) T.F. Daniel

Julub

**Anacardiaceae**

*Metopium brownei* (Jacq.) Urban

Checheem negro

**Annonaceae**

*Annona glabra* L.

Palo de corcho

*Malmea depressa* (Baill.) R.E.Fr.

**Bignoniaceae**

*Tabebuia rosea* (Bertol) DC.

Maculis

**Burseraceae**

*Bursera simaruba* (L.) Sarg.

Chaka'

**Capparidaceae**

*Capparis cynophallophora* L.

**Celastraceae**

*Elaeodendron trichotomum* (Turez.) Lundell

**Combretaceae**

*Conocarpus erecta* L.

Botoncillo

*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertner f.

Mangle blanco

**Ebenaceae**

*Diospyros verae-crucis* (Standl.) Standl.

Siliil

**Euphorbiaceae**

*Gymnanthes lucida* Sw.

Phi

**Fabaceae**

*Piscidia piscipula* (L.) Sarg.

Ja'abin

**Flacourtiaceae**

*Zuelania guidonia* (Sw.) Britton & Millsp.

**Hippocrateaceae**

*Hippocratea excelsa* Kunth

**Malvaceae**

*Hampea trilobata* Standl.

Majahua

**Meliaceae**

*Swietenia macrophylla* King

Caoba

**Mimosaceae**

*Acacia* sp.

*Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth.

Tsalam

**Moraceae**

*Ficus obtusifolia* Kunth

*Ficus ovals* (Liebm.) Miq.

**Nyctaginaceae**

*Neea psychotrioides*

*Neea* sp.

**Rhamnaceae**

*Krugiodendron ferreum* (Vahl) Urb.

**Rhizophoraceae**

*Rhizophora mangle* L.

Mangle rojo

**Sapindaceae**

*Blomia sapinda*

*Talisia olivaeformis* (Kunth) Radik

Guaya

**Sapotaceae**

*Manilkara zapota* (L.) Van Royen

*Sideroxylon americanum* (Mill.) T.D. Penn.

Sapote

**Verbenaceae**

*Avicennia germinans* (L.) L.

Mangle negro

**CLASE LILIOPSIDA**

**Arecaceae**

*Sabal mexicana* Mart.

*Sabal yapa* C. Wright ex Becc.

Guano bon

Guano

### **ANEXO 3. PRODUCTOS ELABORADOS**

Se elaboraron bases de datos en Arcview y Arcexplorer (ESRI) que permiten el despliegue y la consulta de la base de datos espacial. La ventaja de estos softwares es que son muy amigables en comparación con Arc/info. Además Arcexplorer es un software sin costo que puede obtenerse fácilmente a través de internet. Una base de datos consultable con Arcexplorer está a la disposición del público en la página web del proyecto (<http://epornex.ucam.mx/petenes.htm>). Las principales coberturas generadas en el ámbito del proyecto (uso del suelo y vegetación, índices de fragmentación, densidad de bordes y índice de Simpson) fueron convertidas al formato de exportación de Arc/info.

Estos mapas fueron igualmente generados en el modulo Arcplot de Arc/info en la escala 1/150,000 siguiendo los lineamientos de la CONABIO (mapas anexos). Se entregan en formato digital (archivos .gra generados en arcplot permitiendo su impresión y impresos en papel con un graficador de plumillas HP DesignJet 650 C).

Los productos que se generaron son los descritos a continuación:

#### **Cartografía**

- Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona de estudio, escala 1:150,000
- Mapa de los índices de fragmentación, escala 150,000
- Mapa de densidad de bordes, escala 150,000
- Mapa del índice de diversidad de Simpson, escala 150,000
- Mapa de número de especies residentes (modelo), escala 150,000
- Mapa de la Reserva de la Biosfera "Los Petenes", escala 250,000
- Mapa de la Reserva Estatal "Los Petenes", escala 250,000

Los mapas fueron elaborados según los lineamientos establecidos por la CONABIO. Son entregados en formato digital (archivo ".gra" en formato Arcplot) e impresos.

#### **Bases de datos (coberturas en formato vector de Arc/info)**

- Cobertura de uso del suelo y vegetación
- Cobertura de los petenes con sus índices de fragmentación
- Cobertura de densidad de bordes (isolineas)
- Cobertura del índice de Simpson (isolineas)
- Coberturas de carreteras de la región de Los Petenes.
- Cobertura de poblados de la región de Los Petenes
- Cobertura de puntos de campo georeferenciados con fotografía
- Cobertura de los límites del área protegida estatal "Los Petenes"
- Cobertura de los límites de la reserva de la biosfera "Los Petenes"

**Lista de las aves observadas en el ámbito del proyecto (ver anexo 1).**

**Página internet**

ver <http://epomex.uacam.mx/petenes.htm>

**Artículos científicos y de difusión**

ver divulgación de los resultados (anexo 5).

## ANEXO 4. CLAVES UTILIZADAS EN LAS COBERTURAS ARC/INFO

### 1. MAPA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

La cobertura Peten representa la distribución de los tipos de vegetación y uso del suelo en la región de Los Petenes (ver archivo de exportación Arc/info peten.e000 en CD anexo). La base de datos presenta los campos siguientes :

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
AREA	Superficie del polígono en m <sup>2</sup>
PERIM	Perímetro del polígono en m
PETEN#	Número de identificación interno del sistema
PETEN-ID	Número de identificación
C	Clave numérica de uso del suelo y vegetación
Cl	Descripción de la clase de uso del suelo y vegetación
Cl	Información binaria (1 : Peten, 0 : otro)
AREAHA	Superficie del polígono en ha
CSIMPL	Clave numérica de uso del suelo y vegetación simplificado
CLSIMPL	Descripción de la clase de uso del suelo y vegetación simplificado

Las clases de uso del suelo y vegetación están representadas por los campos "C" y "Cl" como se indica a continuación:

<b>Descripción</b>	<b>C</b>	<b>Cl</b>
Manglar	566	M
Manglar disperso	555	Md
Manglar + pantano de zacates	552	M + Tu
Manglar disperso + palmar+ arenal	1000	M + pal + ar
Manglar d perturbado	984	M
Blanquizal	525	B
Petenes	527	Pt
Pantano de zacates	567	Tu
Selva mediana subcaducifolia perturbada	523	Msc
Selva mediana con agricultura itinerante	526	Msc
Selva baja subcaducifolia perturbada	560	Bsc
Blanquizal + Manglar disperso	600	B + M
Selva Baja caducifolia perturbada	561	Bc
Selva Baja caducifolia con actividad agropecuaria itinerante	565	Bc
Selva Baja caducifolia con actividad agropecuaria actual	1001	Bc
Frutales	700	Ft
Zonas urbanas	800	Zu
Cuerpos de agua	8065	-

## 2. COBERTURA DE LOS PETENES CON SUS ÍNDICES DE FRAGMENTACIÓN

La clasificación de los petenes con base en los índices de fragmentación está plasmada en la cobertura petenf (ver archivo petenf.e000 en el CD). Para cada petén, los campos dan el valor de los diferentes índices de fragmentación, los números de cúmulo (cluster) que resultaron del análisis de cúmulos y de la clasificación jerárquica de los cúmulos. En esta cobertura figura también el número de especies de aves residentes que resulta del modelo.

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
AREA	Superficie del polígono en m <sup>2</sup>
PERIM	Perímetro del polígono en m
PETENF#	Número de identificación interno del sistema
PETENF-ID	Número de identificación
C	Clave numérica de uso del suelo y vegetación
CI	Descripción de la clase de uso del suelo y vegetación
PATCHNUM	Número del parche (un número único por parche o polígono)
AP	Pertenencia al área protegida (información binaria 1 : adentro del AP, 0 : afuera)
AREAHA	Superficie del polígono en hectáreas
IF *	Índice de forma
FRACT *	Dimensión fractal
CORE *	Superficie área interna (ha)
NCORE *	Número de áreas internas
CAI *	Porcentaje de la superficie del parche representada por área interna
DFK; *	Dimensión fractal calculada con K
NEAR *	Distancia al peten más cercano
PROXIM *	Índice de proximidad
CLUST *	Número de cúmulos (análisis de cúmulos con base en los índices de fragmentación)
CLUSTF *	Número de cúmulos después reagrupación jerárquica
ESP_MODEL	Número de especies residentes con base en modelo (regresión múltiple)

\* Los campos toman valores sólo para los polígonos que corresponden a un petén.

## 3 COBERTURA DE DENSIDAD DE BORDES (BORDES\_DENS)

Esta cobertura presenta las isoclinas de la densidad de bordes. El campo DENSIDAD lleva el valor de la isoclinas (en m / km<sup>2</sup>).

## 4. COBERTURA SIMPSON

Esta cobertura de línea presenta las isoclinas del índice de diversidad de Simpson. El campo CONTOUR lleva el valor del índice de Simpson (valor decimal entre 0 y 1) mientras el campo SIMPSx100 presenta este mismo valor multiplicado por 100 (valor entero entre 0 y 100).

#### **5. COBERTURA CARRETERAS**

Esta cobertura de líneas representa las carreteras de la región de los petenes. Fue proporcionada por el Instituto Mexicano del Transporte que la generó con base en tecnología GPS. El identificador (ID) de los arcos lleva el valor 1 para las carreteras asfaltadas y 2 para las terrecerías.

#### **6. COBERTURA POBLADOS**

Esta cobertura de puntos representa las 53 localidades situadas en la región de los petenes. Se generó con base en los mapas topográficos del INEGI. El campo NOMBRE lleva el nombre de la ciudad o poblado correspondiente a cada punto.

#### **7. COBERTURA ANP\_EST**

Representa los límites del área protegida, el campo ID contiene información sobre la zonificación del área protegida como se indica a continuación:

1. Zona núcleo,
2. Zona de amortiguamiento costero,
3. Zona de amortiguamiento marino,
4. Zona de amortiguamiento continental,
6. Zona de influencia.

#### **8. COBERTURA LIMBIO**

Representa los límites de la reserva de la biosfera, el campo ID contiene información sobre la zonificación del área protegida como se indica a continuación:

1. Zona de amortiguamiento,
2. Zona núcleo.