

**Informe final\* del Proyecto J118**  
**Uso actual del suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biósfera Calakmul,**  
**Campeche**

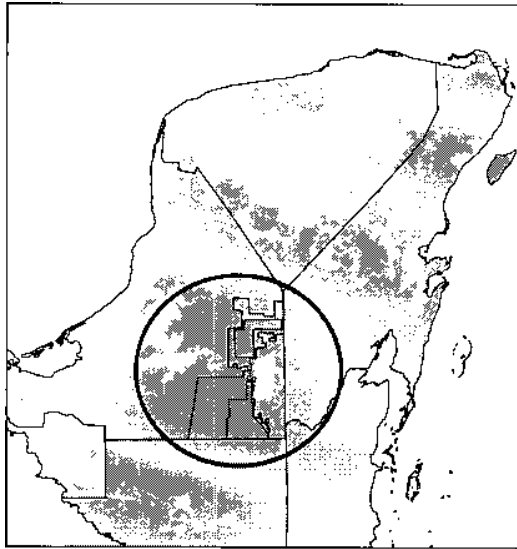
**Responsable:** M en C. José Gerardo García Gil  
**Institución:** El Colegio de la Frontera Sur  
División de Conservación de la Biodiversidad  
Departamento de Ordenamiento Ecológico y Areas Silvestres  
**Dirección:** Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, María Auxiliadora, San Cristóbal de Las Casas, Chis, 29290 , México  
**Correo electrónico:** [ggarcia@sclc.ecosur.mx](mailto:ggarcia@sclc.ecosur.mx)  
**Teléfono/Fax:** Tel: 01(967) 8 1883 ext. 4102, 01(967) 8 1884 ext. 4102 Fax: 01(967) 8 2322  
**Fecha de inicio:** Diciembre 13, 1996  
**Fecha de término:** Febrero 1, 2001  
**Principales resultados:** Cartografía, Informe final  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** García Gil, J. G., March Mifsut, I., Castillo, M. A., Vázquez, R., Llanes Delfino, J. y Méndez Ton. 1996. Uso actual del suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biósfera Calakmul, Campeche. El Colegio de la Frontera Sur. División de Conservación de la Biodiversidad. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. J118.** México D. F.

**Resumen:**

Esta propuesta de colaboración surge de la invitación de la CONABIO para interpretar fotografías aéreas a colores, de 1995 y 1996, y en escala 1:20,000 correspondientes a la Reserva de la Biosfera de Calakmul en el Estado de Campeche. En un período de 18 meses, se propone realizar su interpretación, resección fotogramétrica y digitalización para generar cartografía de vegetación y uso actual del suelo, infraestructura de comunicación, asentamientos humanos y topografía, complementándose la información generada con la cartografía de INEGI en escala 1:50,000. La fotointerpretación se apoyará en trabajo de campo que incluirá la verificación en sitios seleccionados, así como la obtención de puntos de control mediante la georreferenciación de sitios fotoidentificables utilizando posicionadores geográficos (GPS). Utilizando un Sistema de Información Geográfica, se analizarán las coberturas temáticas generadas para estimar el actual estado de conservación de esta Reserva de la Biosfera. Los productos que se generarán en el proyecto incluyen la cartografía impresa de las coberturas geográficas en escala 1:50,000, 1:100,000 y 1:250,000, así como la base geográfica digital.

- 
- \* 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.

**Uso actual del suelo y estado de conservación de  
la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche  
(Proyecto Clave J-118).**



**Informe final del proyecto**

presentado por el  
**Departamento de Ordenamiento Ecológico y Áreas Silvestres  
de El Colegio de la Frontera Sur a la CONABIO**



**ECOSUR**



**Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la  
Biodiversidad.**

**Noviembre de 2000, Chetumal Quintana Roo**

## CONTENIDO

<b>1. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2. RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>4. ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>6. TÉCNICAS Y MÉTODOS .....</b>	<b>S</b>
<b>A. FOTOINTERPRETACIÓN .....</b>	<b>9</b>
<i>Ordenación y clasificación del material fotográfico .....</i>	<i>9</i>
<i>Determinación de centros de foto y áreas útiles .....</i>	<i>10</i>
<i>Diseño del sistema para la clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo .....</i>	<i>10</i>
<i>Codificación de atributos .....</i>	<i>16</i>
<i>Rodalización .....</i>	<i>1b</i>
<i>Verificación de campo y geo-referenciación de puntos de control .....</i>	<i>16</i>
<i>Digitalización y corrección fotogramétrica .....</i>	<i>17</i>
<b>B. DIGITALIZACIÓN, EDICIÓN Y GENERACIÓN DE COBERTURAS TEMÁTICAS .....</b>	<b>18</b>
<i>Coberturas primarias .....</i>	<i>18</i>
.....	
<i>Digitalización y proyección geográfica .....</i>	
<i>Coberturas de utilería .....</i>	<i>25</i>
.....	
<b>C. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>D. CONTROLES DE CALIDAD .....</b>	<b>26</b>
<b>E. DISEÑO DEL FORMATO CARTOGRÁFICO E IMPRESIÓN DE LA CARTOGRAFÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>F. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN         DE TRANSFORMACIÓN - CONSERVACIÓN DE LA RESERVA .....</b>	<b>28</b>
<b>G. PROCEDIMIENTOS PARA LA GENERACIÓN DE LA CARTA DE VULNERABILIDAD         A LA TRANSFORMACIÓN DE LA RESERVA .....</b>	<b>30</b>
<b>H. PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE LA CARTA DE ESTADO DE CONSERVACIÓN         DE LA RESERVA .....</b>	<b>31</b>

<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
A. BASES GEOGRÁFICAS Y CARTOGRAFÍA.....	33
B. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN DE LA RESERVA	
EN CUANTO ESTADO DE TRANSFORMACIÓN DE LA VEGETACIÓN .....	33
<i>Ir Distribución de superficies agrícolas y vegetación secundaria (acahuales)</i> .....	34
<i>N Descripción cuantitativa de los tipos de vegetación y usos del suelo en la Reserva</i> .....	37
<i>N Uso del suelo</i> .....	42
C. TENENCIA DE LA TIERRA . POBLADORES, Y RESERVA DE LA BIOSFERA CALAKMUL .....	47
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>A. SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA RESERVA</b> .....	53
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>

Elaborado por:

Gerardo Garcia.Gil  
Ignacio March Mifsut  
Miguel Angel Castillo  
Roberto Vazquez  
Julio Llanes Delfino  
Mendez Ton

## **1. Agradecimientos**

---

Deseamos expresar nuestro reconocimiento a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) por haber financiado la toma *de las fotografías aéreas de la Reserva de la Biosfera Calakmul*, así como por haber apoyado buena *parte del* desarrollo del presente proyecto. Agradecemos también al personal del Departamento de Ordenamiento Ecológico y Áreas Silvestres de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por el apoyo logístico y por la dedicación y esfuerzo invertidos para realizar las intensas tareas que significó este trabajo. A la asociación Bosque Modelo de Calakmul por habernos facilitado el uso de su estación base para efectuar la corrección diferencial de las lecturas GPS tomadas en campo. Al Registro Agrario Nacional (RAN) le expresamos nuestro reconocimiento por autorizar a ECOSUR el uso de su información para nuestros proyectos de investigación, así como a ASERCA por habernos facilitado la tramitación de esta autorización. Finalmente, agradecemos el apoyo de todas las personas que de alguna manera hayan colaborado en la culminación de este proyecto.

## **2. Resumen**

El presente reporte expone los resultados generados por el proyecto desarrollado en el Departamento de Ordenamiento Ecológico y Áreas Silvestres de ECOSUR por encargo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) sobre la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. El proyecto se concentró en dos grandes metas: 1) Generar cartografía actualizada de los tipos de vegetación y uso del suelo de la Reserva, y 2) Evaluar su situación actual en términos de conservación. Para ello se efectuó la interpretación de 1,500 fotografías aéreas, tomadas en 1995 y 1996, y en escala 1:20,000. El trabajo cartográfico implicó las actividades de rigor, fotointerpretación, resección fotogramétrica, verificación en campo y digitalización de la información para generar una base geográfica digital conformada por 29 coberturas temáticas, entre las más importantes se pueden mencionar; los tipos de vegetación y uso del suelo, infraestructura de comunicación, hidrología superficial, relieve y topografía, geomorfología, asentamientos humanos, sitios arqueológicos, división política y tenencia de la tierra.

La información generada se complementó con la cartografía del INEGI en escala 1:50,000. La fotoínterpretación fue validada en campo en donde se verificó los tipos de vegetación en sitios seleccionados, así como la obtención de puntos de control mediante la geo-referenciación de sitios fotoidentificables utilizando posicionadores geográficos (GPS) aplicando corrección diferencial. Utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), se analizaron las coberturas temáticas generadas para estimar el actual estado de conservación de esta área natural

protegida. Los productos que se generaron en el proyecto incluyen la cartografía impresa de las coberturas geográficas en escalas 1:50,000, 1:100,000, 1:120,000, así como la base geográfica digital.

Con base en la poligonal proyectada en nuestro sistema, la superficie contenida en la poligonal resulto ser de 722,121.69 hectáreas; éste cálculo arroja una diferencia de 1,063.31 ha menos de la superficie estipulada en el decreto 723,185 ha). Las zonas núcleo en su conjunto ocupan el 34.3 % de la poligonal mientras que el resto corresponde a las áreas de amortiguamiento.

Los resultados indican que dentro del polígono de la Reserva 19,261.63 ha están siendo sometidas a un uso agrícola intermitente y fueron reportadas como acahuales en diferentes estados evolutivos (sucesión de vegetación secundaria). Los acahuales herbáceos representan el 20 % de esta categoría y pueden ser considerados como terrenos dedicados a la agricultura ya que se asumen como superficies en descanso; las tierras dedicadas a la agricultura de manera permanente por agricultura estabilizada o cultivos perennes, ocupan 3,818.4 ha.

Las áreas más extensas con cambios en la vegetación por uso del suelo dentro del área de estudio están ubicadas en el flanco oriental de la Reserva, y están relacionadas directamente con proyectos de colonización humana en los últimos 30 años. La región de Calakmul a servido como válvula de escape a la presión agraria ejercida por campesinos sin tierras de diversos estados del país, los cuales son los actores sociales que construyen sus espacios productivos e inducen cambios en la vegetación.

La extensión superficial que la Reserva alcanza y su conexión con otras áreas protegidas (Reserva Maya en Guatemala) la hacen una zona idónea para mantener poblaciones animales y vegetales de los ecosistemas, así como permitir el flujo genético.

Se puede afirmar en términos amplios que la Reserva se encuentra bien conservada, la red de caminos de extracción para aprovechamiento forestal es indicativa del saqueo que se ha hecho de maderas finas tropicales, esto seguramente a tenido algún efecto sobre algunas especies en particular (cedro y caoba), sin embargo la cubierta forestal se mantiene así como la gran riqueza de especies que la caracteriza.

### **3. Introducción**

El conocimiento del espacio geográfico es necesario para la planeación del uso de la tierra y para el ordenamiento del territorio. En el caso específico de las áreas destinadas a la conservación de los recursos naturales, es decir las reservas biológicas cuyo objetivo es la preservación de los bancos de germoplasma animal y vegetal, los estudios geográficos y cartográficos permiten

reconocer el espacio con distintos niveles de aproximación y detalle, para lo cual se hace uso de diferentes escalas y herramientas para construir modelos cartográficos.

El reconocimiento de los recursos naturales así como su distribución dentro de un área natural protegida, son aspectos básicos para establecer programas de manejo; sin embargo en nuestro país son pocas las áreas protegidas que cuentan con información cartográfica específica y actualizada. La cartografía especializada de un área protegida es una herramienta que facilita la zonificación para el manejo, por lo que aporta elementos para dar prioridades para el desarrollo de la investigación, el monitoreo y la planeación de las actividades de desarrollo y preservación de dichas áreas.

El reconocimiento geográfico y el análisis de información espacial permite reconocer las características físicas, biológicas y socioeconómicas que ocurren en un espacio y un tiempo determinados. Esto permite definir unidades espaciales de algún tipo (ambientales, morfopedológicas, de paisaje, etc.), que pueden ser ordenadas según categoría y jerarquizadas para el manejo y conservación de los recursos naturales.

El Estado de Campeche tiene una extensión total de 5,685,800 ha y cuenta aún con una importante riqueza forestal. Al igual que otras entidades del territorio nacional presenta una presión económica y demográfica creciente sobre los recursos naturales, por lo que fue propuesto en el año de 1989 el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Calakmul con el fin de preservar el rico banco de germoplasma que caracteriza a las selvas tropicales de nuestro país.

La región de Calakmul se encuentra en el centro-sureste del estado de Campeche; es de gran interés por la riqueza arqueológica y biológica que contiene. Desde un punto de vista geomorfológico, se localiza al sur de la plataforma yucateca; su morfología cárstica le confiere un desarrollo hidrológico subterráneo, mientras que en superficie dominan formas de disolución del mismo origen formado por mesetas, planicies y valles. Como elementos del relieve de naturaleza cárstica existen dolinas, uvalas y cavernas; las formas superficiales se caracterizan por un relieve de baja energía en donde las mayores elevaciones se encuentran sobre mesetas que alcanzan los 365 metros sobre el nivel del mar.

#### **4. Antecedentes**

Este trabajo tiene antecedentes en proyectos previos efectuados por lo: autores con respecto a la generación de cartografía de la región de Calakmul Campeche. Entre 1989 y 1993, se efectuaron estudios sobre el medio físico de la región de Calakmul, generando cartografía temática en escalas 1:250,000 1:100,000 sobre geomorfología, vegetación y uso del suelo, hidrología superficial tenencia de la tierra, grandes tipos de climas e hipsometría (García-Gil, 1991)



Esta cartografía fue elaborada con base en la cartografía existente, la interpretación de imágenes LANDSAT-TM en formato impreso, verificaciones de campo y consulta de información agraria, habiéndose efectuado visitas de reconocimiento en la mayor parte de ambos sectores de la Reserva de la Biósfera Calakmul.

Otras instituciones han iniciado diversos proyectos que de alguna manera se relacionan con la generación de información geográfica de Calakmul o bien con la evaluación de su estado de conservación. El Centro para la Biología de la Conservación de la Universidad de *Stanford*, realiza actualmente un importante proyecto en el cual se busca generar una base geográfica de las comunidades y asociaciones vegetales de toda la región. El área de estudio de dicho proyecto incluye tanto a las superficies incluidas en la poligonal de la Reserva de la Biosfera como sus áreas de influencia incluyendo la zona de incidencia del Programa "Bosque Modelo". Este estudio está utilizando como insumo imágenes de satélite LANDSAT-TM que están siendo clasificadas mediante trabajo de campo y con base en una clasificación que detalla las distintas comunidades vegetales que se presentan en la región. Paralelamente, en un proyecto conjunto entre el Departamento de Geografía de la Universidad de Clark, ECOSUR, el proyecto Harvard Forest y la [NASA](#), se desarrolla otro proyecto de investigación que busca determinar la dinámica de los cambios de uso del suelo en esta región en los últimos años utilizando diversas metodologías y teniendo también como insumos imágenes LANDSAT-TM (Ogneva Himmelberger y Turner, 1995).

## **5. Objetivos**

---

Los objetivos propuestos en este estudio son los siguientes:

- a) Realizar la interpretación de 1,500 fotografías aéreas que dan cubrimiento a la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche.
- b) Con base en lo anterior, generar la cartografía básica actualizada de la Reserva, incluyendo los temas de vegetación y uso actual del suelo, hipsometría, vías de comunicación, asentamientos humanos e hidrología superficial.
- c) Mediante un análisis geográfico utilizando un sistema de información geográfica (SIG) determinar la situación actual de la Reserva de la Biosfera Calakmul con respecto a sus objetivos de conservación.

## **6. Técnicas y métodos**

El insumo principal para la elaboración del presente proyecto fue un archivo de 1,533 fotografías aéreas, en escala 1:20,000, a color, con marcas

fiduciales y centros geo-referenciados, que dan cobertura a la superficie del polígono decretado para la Reserva de la Biosfera Calakmul en Campeche. La actividad de fotointerpretación fue realizada de acuerdo con los criterios sugeridos por INEGI 1987. Se trabajó con estereoscopios de campo y de espejos en la revisión de rodales y en la obtención de ligas de foto a foto y de línea a línea para eliminar discrepancias e inconsistencias.

El estudio que aquí se reporta incluyó las siguientes técnicas y métodos **A**.

### **Fotointerpretación**

Esta fase incluyó los siguientes procedimientos:

- Ordenación y clasificación del material fotográfico.  
El Determinación de centros.
- El Diseño del sistema para la clasificación de tipos de vegetación y uso del suelo.
  - Codificación de atributos.
- El Rodalización.
  - Verificación de campo y geo-referenciación de puntos de control.
  - Digitalización y corrección fotogramétrica.
- a Ensamble del mosaico aereofotográfico.
  - Aplicación de controles de calidad, corrección de inconsistencias y errores de etiquetado.

A continuación se detallan cada uno de estos procedimientos:

### **Ordenación y clasificación del material fotográfico.**

Una de las primeras actividades, consistió en la revisión y reclasificación de las 1,533 fotografías aéreas tomadas en 1995 y 1996. Para ello se armaron líneas de vuelo y se clasificaron según el cubrimiento con respecto a las hojas topográficas del INEGI en escala 1:50,000. Lo anterior permitió verificar la horizontalidad de las líneas de vuelo, cubrimiento, continuidad, así como la sobreposición aereofotográfica de foto a foto y de línea a línea. Cabe indicar que 53 fotografías son repeticiones de tomas de 1995 que volvieron a tomarse en 1996, y a las cuales se les dió preferencia en la fotointerpretación. Una vez realizada la proyección de centros sobre la poligonal decretada de la Reserva se reveló que hubo pequeñas áreas que no tuvieron cobertura fotográfica.

Se ordenó la información de la base de datos correspondiente a las fotos aéreas con relación a la ubicación de centros, fechas y hora de toma, número de exposición y otros datos complementarios a cada fotografía. Se determinó un código numérico único a cada fotografía a partir del año de la toma, la línea de vuelo y el número de exposición.

Utilizando las coordenadas de los centros de foto, se proyectaron con *Arc Info* bajo el sistema geográfico utilizado en este proyecto (Proyección UTM, Esferoide de Clarke 1866; Datum NAD27). Esto permitió generar un foto-índice (**Fig. 1**) que facilitaría el control y monitoreo de los avances de la

fotointerpretación, así como la corrección fotogramétrica y la edición del mosaico digital.

### **Determinación de centros de foto y áreas útiles.**

La fotointerpretación dió inicio con un primer paso que fue determinar los puntos principales (centros) de cada una de las fotografías. Para ello se trazó el punto convergente entre las marcas fiduciales, a partir de lo cual se determinó el área útil de las fotografías. El criterio adoptado para el proceso de fotointerpretación fue el de marcar los contornos (rodalizar) en todas las fotos para interpretar en cada una de ellas solo el área de mínima deformación (también llamada "área útil"); este procedimiento fue contrario al proceso de "fotos intercaladas".

### **Diseño del sistema para la clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo.**

La clasificación utilizada en la rodalización es fisonómica y es considerada convencional para México; se buscó que la clasificación utilizada fuera útil para diferentes especialistas que en el futuro trabajen en la región de Calakmul sobre aspectos físicos, biológicos y humanos. La clasificación se basó tanto en la revisión de trabajos botánicos (Lundell, 1934; Flores 1990), así como los trabajos previos en la región (García-Gil y March, 1990; March, 1992), como en la clasificación convencionalmente utilizada por el INEGI en su cartografía de vegetación y uso del suelo (INEGI, 1981).

**Figura 1.- Ubicación de los centroides de las fotografía aéreas.**

- X - Fotografías tomadas en 1995.
- - Fotografías tomadas en 1996.

La clasificación utilizada para los tipos de vegetación y uso del suelo en este trabajo incluyó las siguientes categorías:

1) **Tipos de vegetación:**

**Selva alta**

Es aquella comunidad arbórea, compuesta por una amplia diversidad de especies, cuya altura de la masa forestal dominante es superior a los 25 metros de altura. Para la zona se reporta como perennifolia y subperennifolia

- **Selva mediana y selva mediana subcaducifolia**

Es aquella comunidad arbórea, cuya altura de la masa forestal dominante se encuentra entre 15 y 25 metros de altura. Se reportan formaciones subperennifolias, subcaducifolias y caducifolias. En la fotografía se identificaron selvas medianas subcaducifolias en virtud de que entre el 25 al 50 % de las especies pierden su follaje durante la estación más seca del año

- **Selva baja y selva baja caducifolia**

Es aquella comunidad arbórea, cuya altura de la masa forestal dominante es menor a 15 metros de altura. En el área se reporta como subperennifolia y caducifolia. La selva baja caducifolia reportada cumple con la característica de que en promedio, el 50 al 75 % de las especies tiran su follaje en la temporada más seca del año

- **Selva baja inundable**

Localmente recibe el nombre de **akafché**; es aquella vegetación que corresponde a selva baja perennifolia y que está dispuesta sobre una posición negativa del relieve y presenta un drenaje deficiente, por lo que permanece inundada durante la época de lluvias (de mayo a octubre), y puede permanecer en estado de inundación hasta febrero; este tipo de vegetación está asociada a *suelos del* tipo de los vertisoles y se observan procesos de gleización.

- **Vegetación riparia**

Es llamada así aquella vegetación que se ubica sobre los márgenes de los escurrimientos superficiales, en condiciones de humedad local con suelos drenados; fisonómicamente presenta diferencias con la vegetación que la rodea.

- **Vegetación hidrófita (vegetación asociada a cuerpos de agua)**

Esta categoría es muy amplia y se refiere a una serie de asociaciones hidrófitas, entre las que se encuentran varias familias, siendo algunas de ellas Typhaceae, Cyperaceae, Poaceae, Bignoniaceae, Fabaceae y *Arecaceae*; están directamente relacionadas con las dolinas inundadas, que localmente son llamadas "aguadas" y representan un ambiente muy importante para la región ya que acumulan agua durante todo el año, siendo una importante fuente de agua para la fauna silvestre y la población locales. En la cartografía anexa, se le denomina vegetación hidrófita ya que es un

sinónimo de vegetación asociada a cuerpos de agua, pero mas corto, por lo tanto más útil para su presentación en una leyenda.

- **Acahuales**

Son aquellas formas sucesionales (vegetación secundaria) producidas por la acción humana que elimina la vegetación original para introducir cultivos anuales, los cuales abandona después de algunos ciclos agrícolas; en este trabajo se diferenciaron aquellas superficies bajo uso agrícola que se encuentren con vegetación herbácea (acahuales menores de 5 años), arbustiva (acahual entre 5 y 10 años) y arbórea (acahual arbóreo, más de 10 años).

En el caso específico de la vegetación secundaria se considero la opción de llamarle como popularmente se le denomina en México, "Acahual"; consideramos que de esta forma es más accesible la cartografía a personas no especializadas o familiarizadas con lenguaje técnico.

## **2) Usos del suelo:**

- **Agricultura de Temporal**

Son etiquetadas como agricultura de temporal aquellas superficies dedicadas al cultivo en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia. Dichos terrenos pueden dejarse de sembrar durante algún ó algunos años pero están dedicadas principalmente a esta actividad. Entre los principales cultivos que para la región caen dentro de esta categoría están el maíz, el chile y la calabaza ("chigua").

- **Cultivos perennes)**

Se refiere a aquellas superficies en donde se han introducido cultivos que permanecen por lo menos diez años en el terreno. Entre los principales cultivos de este tipo estarían aquellas plantaciones de diversos frutales (Ej. Cítricos).

- **Pastizales**

Son aquellas superficies que presentan físicamente una vegetación dominante graminoide, que puede estar o no asociada a otros tipos de vegetación.

- **Roza-Tumba-Quema**

Son aquellas superficies que se encuentran bajo cultivo en forma periódica, ya que son usadas en un lapso entre uno y cinco años; después del ciclo agrícola la parcela es dejada en barbecho hasta su reutilización intensiva años más tarde.

- **Zonas Urbanas, habitacionales y de infraestructura**

Son aquellas superficies dedicadas a la habitación, colonización humana o desarrollo de otras actividades, en donde ocurre un proceso de desmonte que elimina a la vegetación original.

- **Áreas sin vegetación aparente**

Se incluyen en esta categoría las superficies que corresponden a islas en ríos, bancos arenosos ó áreas abiertas a la extracción de materiales como bancos de préstamo para construcción o relleno y que por lo tanto se encuentran desprovistas de vegetación aparente.

La clasificación utilizada tiene la estructura jerárquica señalada en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.- Clasificación utilizada para la interpretación de la fotografía aérea.**

<i>CATEGORIA</i>	<i>Tipo o clase</i>	<i>Subtipo o subclase</i>
<i>Tipos de vegetación</i>	Selva Alta	
	Selva Mediana	
	Selva Baja	Selva Baja no inundable
		Akalché o Selva Baja inundable
	Vegetación Riparia	
	Vegetación hidrófita	
		Acahual Herbáceo
		Acahual Arbustivo
		Acahual Arbóreo
		Agricultura de temporal
	Cultivos perennes	

CATEGORIA	Tipo o clase	Subtipo o subclase
<b>Usos del suelo</b>	<i>Pastizales</i>	
	Zonas Urbanas, habitacionales y de infraestructura	
	Roza-Tumba-Quema	
<b>Otros</b>	Sin vegetación aparente	

Las categorías utilizadas corresponden a clases equivalentes incluidas en otros sistemas de clasificación de la vegetación utilizados por diferentes autores para México y para el mundo (**Cuadro 2**).

**Cuadro 2. Equivalencias del sistema de clasificación de la vegetación y uso del suelo utilizado, con respecto a otros sistemas de nomenclatura.**

Categorías utilizadas	Categorías equivalentes
<b>Selva alta</b>	Bosque tropical perennifolio (Rzedowski, 1981) Rain forest, tropical evergreen forest (Leopold, 1950) Rain forest, evergreen seasonal (Beard, 1944) Selva alta perennifolia, selva alta o mediana subperennifolia (Miranda y Hernández X., 1963) Selva umbrófila siempre verde (Lauer, 1968) Selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia (en parte)
<b>Selva mediana</b>	Bosque tropical subcaducifolio (Rzedowski, 1981) Tropical deciduous forest (en parte) (Leopold, 1950) Semi-evergreen seasonal forest (Beard, 1944) Selva alta o mediana subcaducifolia (Miranda y Hernández X., 1963) Bosque deciduo semihúmedo (Lauer, 1968) Selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia (en parte) (Flores., 1990).
<b>Selva baja</b>	Bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1981) Tropical deciduous forest (en parte), arid tropical scrub (en parte) Leopold (1950) Deciduous seasonal forest, (Beard, 1944) Selva baja caducifolia (Miranda y Hernández X., 1963) Bosque deciduo semiárido (Lauer, 1968) Selva baja, perennifolia, subperennifolia, subcaducifolia (INEGI, 1981)
<b>Akalché</b>	Bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1981) Tropical deciduous forest (en parte), arid tropical scrub (en parte) Leopold (1950) Deciduous seasonal forest (Beard, 1944) Selva baja subperennifolia (Miranda y Hernández X., 1963) Bosque deciduo semiárido (Lauer, 1968)
<b>Vegetación</b>	Vegetación de galería (INEGI, 1981) Vegetación de galería (UNAM-SEMARNAP, 1994)



<b>Categorías utilizadas</b>	<b>Categorías equivalentes</b>
<b>Riparia</b>	
<b>Vegetación hidrófita</b>	Vegetación acuática y subacuática (Rzedowski, 1981) Swamp vegetation (en parte) (Beard, 1944) Popales y fulares (INEGI, 1981, 1984, 1985)  Vegetación secundaria arbórea y arbustiva (INEGI, 1984, 1985).
<b>Acahual</b>	
<b>Agricultura de temporal</b>	Agricultura de temporal-cultivos anuales (INEGI, 1984, 1985). Agricultura de temporal (UNAM-SEMARNAP, 1994)
<b>Cultivos perennes</b>	Plantaciones agrícolas (UNAM-SEMARNAP, 1994)
<b>Pastizales</b>	Pastizales inducido y cultivado (INEGI, 1984, 1985). Pastizales (UNAM-SEMARNAP, 1994)
<b>Zonas urbanas, habitacionales y de infraestructura</b>	Zonas urbanas (UNAM-SEMARNAP, 1994)
<b>Roza-Tumba Quema</b>	Agricultura nómada (INEGI, 1984, 1985).
<b>Sin vegetación aparente</b>	Áreas sin vegetación aparente (INEGI, 1984, 1985). Áreas sin vegetación aparente (UNAM-SEMARNAP, 1994)

Las equivalencias de la clasificación *utilizada en el proyecto con respecto a* la de la CONABIO se indican; (**Cuadro 3**).

**Cuadro 3** Equivalencias de categorías entre las clasificaciones de vegetación y uso del suelo utilizadas en este trabajo con respecto a las de la CONABIO.

<i>Categorías utilizadas en este trabajo</i>	<i>Categorías usadas en la CONABIO</i>
<i>Selva Alta</i>	<i>Selva Alta</i>
<i>Selva Mediana</i>	<i>Selva Mediana</i>
<i>Selva Baja</i>	<i>Selva Baja</i>
<i>Akalché</i>	<i>Selva Baja</i>
<i>Vegetación Riparia</i>	<i>Vegetación Riparia</i>
<i>Vegetación hidrófita</i>	<i>Vegetación acuática y subacuática</i>
<i>Acahual</i>	<i>Vegetación secundaria</i>
<i>Agricultura de temporal</i>	<i>Agrosistemas cultivares o milpas</i>
<i>Cultivos perennes</i>	<i>Agrosistemas cultivares o milpas</i>
<i>Pastizales</i>	<i>Pastizales</i>
<i>Roza-Tumba-Quema</i>	<i>Agrosistemas cultivares o milpas</i>
<i>Áreas sin vegetación aparente</i>	<i>Áreas sin vegetación aparente</i>

La composición de especies de las diversas asociaciones vegetales de la región de Calakmul, están documentadas por Lundell (1934) y Flores (1990). En estos trabajos, se enlistan especies características de cada asociación vegetal con base a colectas botánicas distribuidas en toda la región de estudio.

Tal y como indica el trabajo de Muller-Dombois (1984), se utilizó información adicional para verificar y refinar la determinación de tipos de vegetación y la delimitación de los rodales. Como se explica más adelante, en este estudio se utilizaron diversas coberturas digitales (hipsometría, hidrología superficial y un modelo digital de elevación) elaboradas a partir de las cartas topográficas de INEGI en escala 1:50,000 para efectuar esta verificación.

- **Codificación de atributos.**

Las categorías principales y secundarias fueron codificadas con letras y números que corresponderían a las etiquetas de los polígonos durante la captura y edición digital de los rodales.

- **Rodalización**

Los criterios básicos utilizados en la rodalización de las fotografías tomaron en cuenta la altura de la vegetación, la textura y microtextura, el color y el tono, la posición, la forma y el tamaño del rodal y los rasgos asociados.

El trabajo se realizó con la ayuda de dos estereoscopios de espejos y varios estereoscopios de campo. Para el marcado de los rodales se utilizaron estilografos de tinta china de tres colores: para vegetación y usos del suelo se utilizó tinta roja; para carreteras, caminos y veredas color negro y para los puntos de control azul marino.

- **Verificación de campo y geo-referenciación de puntos de control.**

Se realizaron varias estancias de campo en la región de estudio, con el fin de validar la fotointerpretación, así como para la obtención de puntos de control terrestre. Los recorridos de campo fueron realizados sobre brechas y caminos de extracción forestal. En forma paralela se fueron señalando puntos sobre la fotografía que corresponden a sitios identificables en el terreno. En aquellos sitios que resultan seleccionados, se tomaron coordenadas (Longitud W y Latitud N) con un posicionador geográfico (GPS), llevándose un control de las lecturas obtenidas en una bitácora de campo. Las lecturas fueron posteriormente corregidas utilizando el sistema de corrección diferencial, haciendo uso de los datos registrados sincrónicamente por la estación base de GPS del proyecto Bosque Modelo, que se ubica en el poblado Zoh Laguna.

Como una actividad complementaria, se realizó un sobrevuelo en avioneta en el sector sur de la reserva; esto permitió tomar fotografías que apoyaron la validación de la interpretación que se realizó de la fotografía aérea.

### **Digitalización y corrección fotogramétrica**

Una vez rodalizadas las áreas útiles de cada fotografía interpretada, éstas fueron digitalizadas utilizando cuatro puntos de esquina a manera de coordenadas de registro. De cada foto se digitalizaron los contornos de los rodales así como el contorno del área útil, asignando como nombre de archivo el código único de foto. Posteriormente se efectuó la corrección fotogramétrica utilizando dos insumos: 1) coordenadas de control obtenidas en campo con GPS (con corrección diferencial) y de la cartografía del INEGI en escala 1:50,000 para puntos identificables en las fotografías, y 2) un modelo digital del terreno en formato TIN (Triangular Irregular Network).

La corrección fotogramétrica es una técnica para eliminar la deformación intrínseca de la fotografía aérea y obtener cartografía confiable; este procedimiento fue realizado con el fin de cubrir las normas técnicas básicas en la elaboración de cartografía. Para este fin fue adquirido un programa que utiliza las ecuaciones de colinealidad tridimensional y que permite la determinación de los seis parámetros que definen la orientación exterior o absoluta del centro de toma de cada fotografía (López-Blanco et al., 1995); este método permite corregir la deformación de la fotografía por proyección central y por corrimiento de relieve.

Para realizar este proceso se utilizaron dos programas específicos: ILWIS (*Integrated Land and Water Information Systems*), el cual posee un módulo para efectuar este proceso (monoplof); y el PC PhotoGIS, el cual resultó más eficiente por la compatibilidad con *Arc Info*, lo que permitió reducir los tiempos en la corrección de la fotografía aérea.

La corrección de la deformación geométrica de las fotografías aéreas puede abordarse mediante varias técnicas, una de las técnicas más precisas es la que requiere como insumos básicos la obtención de puntos de control terrestres y un modelo digital del relieve en formato TIN. Los puntos de control terrestre fueron obtenidos durante cada una de las salidas de campo realizadas para la verificación de tipos de vegetación y uso del suelo. Se utilizó un GPS para registrar los puntos y posteriormente estos fueron corregidos utilizando una estación base y eliminándose así el error de la "disponibilidad selectiva" (corrección diferencial). Esta corrección permitió tener una precisión de  $\pm 1$  metro. Estos puntos de control se adicionaron a aquellos extraídos de las cartas topográficas y a los centroides geo-referenciados de las fotos.

Los modelos digitales del terreno en formato TIN fueron generados a partir **de la digitalización de las curvas de nivel de las cartas topográficas del INEGI en**

escala 1:50,000, usando la función "CreateTin" de Arc Info para estación de trabajo. Este procedimiento consiste en utilizar los vértices con una distancia mínima de 20 m a partir de las curvas de nivel.

Una vez realizada la digitalización de los rodales a partir de las fotos interpretadas, se efectuó la corrección foto por foto (área útil).

Algunas fotografías aéreas no pudieron ser corregidas mediante el procedimiento descrito; esto debido a los siguientes factores: 1) las características topográficas del terreno al que correspondían impidieron tomar puntos de control cartográficos por la ausencia de rasgos físicos relevantes, 2) la inaccesibilidad por tierra para obtener puntos de control terrestre en campo, y 3) la ausencia de vértices en rasgos identificables (Ej. cruces de caminos, escorrentías, etc).

Las fotografías no corregidas fueron digitalizadas para ser corregidas por otro procedimiento; esto con el fin de que el error por esta causa disminuyera al mínimo. El procedimiento consistió en llevar a coordenadas UTM los puntos de control que se pueden generar a partir del centroide y de esta manera hacer la *corrección mediante el procedimiento de "rubber sheeting"* (ESRI, 1995) en Arc Info. Para hacer más eficiente el proceso se programó en Arc Info un archivo "macro", el cual permitió automatizar y dar consistencia a este procedimiento para las fotos que no cumplieron los requisitos para ser corregidas por el primer procedimiento.

Con los procedimientos anteriores fue posible ensamblar el mosaico de líneas de fotos georreferidas y corregidas geoméricamente para generar una cobertura digital de los rodales obtenidos de las fotos.

## **B. Digitalización, edición y generación de coberturas temáticas. Coberturas**

### **primarias.**

Adicionalmente a la generación de una cobertura digital de la vegetación y *uso del suelo en la Reserva ("VEGEUSD", a partir de las fotografías aéreas)*, y con el fin de lograr los objetivos planteados en este proyecto, se elaboraron diversas coberturas geográficas digitales para conformar una Base Geográfica Digital que permitiera determinar el estado de conservación de esta área natural protegida .

Las coberturas temáticas fueron generadas a partir de la digitalización de cartografía existente y disponible en diversas escalas geográficas, así como de información obtenida a partir de la foto; nterpretación (**Cuadro 4**).

**Cuadro 4. Coberturas temáticas primarias que fueron elaboradas en este proyecto.**

Nombre de la cobertura	Descripción	Fuentes
<b>HIPSO</b>	Hipsometría. Rangos hipsométricos cada 10 m.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>HIDRO1</b>	Hidrología superficial. Ríos y escurrimientos.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>HIDRO2</b>	Hidrología superficial. Cuerpos de agua.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>INFASAT</b>	Infraestructura de comunicación. Actualización de nuevas	Imagen LANDSAT-TM 1998.
<b>RESERVA</b>	Poligonal de la reserva según el decreto que la estableció.	Decreto presidencial de establecimiento.
<b>CURVAS</b>	Hipsometría. Curvas de nivel cada 10 m.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>INFRAINE</b>	Infraestructura de comunicación según la cartografía de INEGI.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>INFRAFOT</b>	Infraestructura de comunicación, según las fotografías aéreas utilizadas.	Este proyecto.
<b>GEOMORFO</b>	Principales formas del relieve, clasificadas según evidencias	García Gil (1991)
<b>TENENCIA</b>	Versión preliminar de la tenencia de la tierra con base en el Registro Agrario Nacional (RAN) y García-Gil (1993).	García Gil (1991) Registro Agrario Nacional
<b>MUNIC</b>	Límites municipales para el área de estudio según la cartografía del Gobierno del Estado de Campeche, incluyendo al nuevo municipio de Calakmul.	Gobierno del Estado de Campeche.
<b>ARQUEOL</b>	Sitios arqueológicos incluidos en el área de estudio.	Cartografía INEGI 1:50.000
<b>POBLADOS</b>	Poblados y asentamientos en la región de estudio.	Nomenclator INEGI; este proyecto
<b>CAMINOS</b>	Cobertura de la infraestructura de comunicación con base a la fotografía aérea, la cartografía del INEGI y la imagen	Cartografía INEGI 1:50,000

A partir de las cartas topográficas del INEGI en escala 1:50,000 se generaron coberturas primarias correspondientes a los temas de hipsometría (curvas de nivel y rangos altitudinales o hipsométricos), hidrología superficial (escurrimientos permanentes y temporales, cuerpos de agua y zonas de inundación) e infraestructura de comunicación (Cobertura "*infraine*"; carreteras, terracerías, brechas y veredas).

**a) Coberturas de curvas de nivel e hipsometría.**

Estas dos coberturas se generaron a partir de las cartas topográficas del INEGI en escala 1:50,000. Se generó una cobertura con las curvas de nivel cada 10 metros (a la que se le creó topología sólo de arcos, "*Curvas*"), y otra con los rangos hipsométricos resultantes (con topología de arcos y polígonos, "*Hipsd*").

Con el fin de digitalizar con mayor precisión y eficiencia las curvas de nivel, fue necesario como primer paso marcar con distintos colores las líneas impresas de las cartas; esto debido a que las curvas de nivel en muchas de las cartas no son claramente legibles. Ya digitalizadas y editadas las curvas de nivel, se elaboró un macro específicamente diseñado para etiquetar de manera automatizada los polígonos y así generar una cobertura de rangos hipsométricos a partir de la cobertura de curvas de nivel. Inicialmente se asignaron etiquetas con valor cero a todos los polígonos de la cobertura; posteriormente, el macro considera los valores de los arcos menor y mayor que comprenden al rango hipsométrico y reasigna una etiqueta con el valor promedio de ambos arcos. El macro obtiene los valores de los arcos a partir de su tabla de atributos (aat). Esto efectuando dos búsquedas, una para el valor del polígono izquierdo (lpoly) y otra para el derecho (rpol). La cobertura de curvas de nivel fue posteriormente utilizada para generar un Modelo Digital de Elevación (MDE).

**b) Coberturas de hidrología superficial.**

La hidrología superficial del área de estudio quedó incluida en dos coberturas; una de arcos ("*Hidra1*") que incluye los superficiales que corresponden a drenes naturales e ("*Hidro2*") que incluye a los cuerpos de agua superficial que constituyen polígonos. La razón de elaborarlas por separado se fundamenta en la utilidad que una cobertura de la red hidrológica (escurrimientos) tiene para un análisis de redes. La cobertura de hidrología superficial que incluye a los arcos de los escurrimientos tienen la dirección en la que fluye el agua, independientemente de su carácter temporal o permanente a través del año.

A la cobertura de cuerpos de agua, en donde se incluyen las lagunas perennes e intermitentes o temporales, las zonas de inundación y pantanos señalados por la cartografía del INEGI, se le añadieron las aguadas detectadas en las fotos aéreas.

**o) Coberturas de infraestructura de comunicación.**

La cobertura de infraestructura de comunicación ("*Caminos*") se conformó a partir de tres fuentes: 1) de las vías de comunicación señaladas por las cartas del INEGI en escala 1:50,000 (cobertura "*Infraine*"), 2) de las terracerías, caminos y brechas digitalizadas a partir de las fotografías aéreas (para el interior de la Reserva; cobertura "*Infracof*"), y 3) de terracerías y caminos de reciente apertura y que fueron identificados en una imagen digital LANDSAT-TM correspondiente a 1998 (cobertura "*Infrasaf*"). Con base a lo anterior se generó la cobertura "*Caminos*" la cual contiene la totalidad de las vías de comunicación existentes dentro de la Reserva y las principales vías existentes en sus periferias.

**d) Cobertura de la poligonal de la Reserva y sus zonas núcleo.**

Con base al decreto que estableció la Reserva, se generó una cobertura con la delimitación de las poligonales de las áreas de amortiguamiento y las zonas núcleo (norte y sur). Las coordenadas geográficas estipuladas en dicho decreto fueron capturadas en un archivo \*.cgp de AutoCAD. Posteriormente, a este archivo se le aplicó el programa vertice.lsp el cual proyecta las coordenadas y genera una poligonal que une los vértices en orden consecutivo. Posteriormente, esta poligonal tuvo que ser ajustada al límite fronterizo señalado por el INEGI en sus cartas 1:50,000 debido a que uno de los vértices del decreto cayó cerca de 200 m dentro del territorio de Guatemala. Con este procedimiento se generó con precisión geográfica las poligonales de la Reserva (áreas de amortiguamiento, zonas núcleo 1 y 2).

**e) Cobertura de división política.**

La cobertura de municipios (División política) fue generada a partir de la digitalización de la Carta del Gobierno del Estado de Campeche (1997) y de la carta del Gobierno de Estado de Quintana Roo.

**f) Cobertura de geomorfología.**

La cobertura de Geomorfología fue elaborada a partir de la cartografía en **escala** 1:250,000 del trabajo de García-Gil (1991) y corresponde a la superficie abarcada por la poligonal de la Reserva. Esta carta fue elaborada mediante técnicas de interpretación y lectura de cartas topográficas. Lugo Hupb 1989

La cobertura de tenencia de la tierra que se generó tiene el carácter de preliminar. Esto debido a que requiere de un trabajo específico que permita verificar los límites

**g) Cobertura preliminar de tenencia de la tierra.**

precisos de los predios. Esta cobertura fue elaborada a partir de dos insumos: 1) de la cartografía en escala 1:100,000 producida por García-Gil (1993) y 2) del Registro Agrario Nacional (RAN) en formato digital. Es claro que una cobertura definitiva de la situación agraria no puede ser elaborada sin la realización de un intenso trabajo de campo que permita geo-referenciar con precisión los mojones, mensuras y límites de los predios y propiedades sobre el terreno. Cabe indicar que los contornos de los predios dentro de la Reserva fueron obtenidos de la cartografía de García-Gil (1993) y que el resto de predios que dan cobertura a las áreas periféricas a la poligonal de la Reserva incluidas en el área cubierta por el conjunto de cartas 1:50,000 fueron obtenidos del RAN a partir del Sistema de Información Geográfica de ASERCA (SIGA).

h) Cobertura de **sitios arqueológicos**.

Esta cobertura fue generada a partir de los puntos proyectados del nomenclator del INEGI que correspondían a sitios arqueológicos, y se complementaron con puntos digitalizados a partir de los polígonos determinados como tales en la fotointerpretación. Cabe indicar que los sitios incluidos en la cobertura son tan sólo los principales o de mayor dimensión. La región de Calakmul presenta muchos más sitios arqueológicos y montículos de muy diverso tamaño que no son visibles en la fotografía.

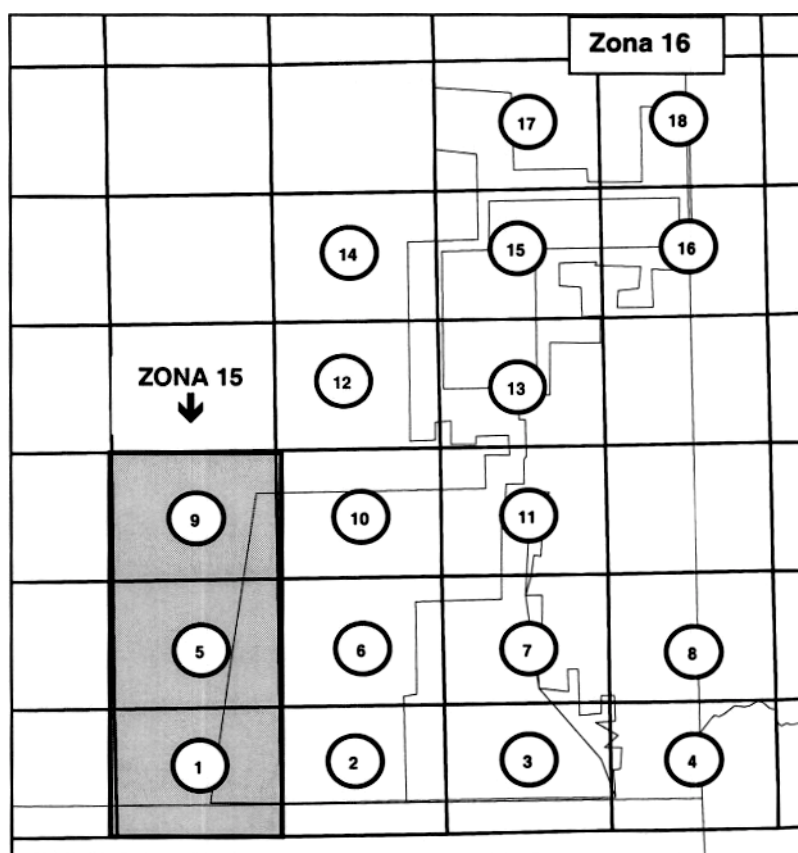
i) **Cobertura de poblados geo-referenciados.**

Para generar la cobertura de poblados y asentamientos humanos ("*Poblados*") existentes en el área que queda cubierta por las cartas, en primer término se proyectaron los puntos incluidos en el nomenclator del INEGI. A estos, se adicionaron puntos que corresponden a los polígonos fotointerpretados como poblados. En algunos casos, se eliminaron puntos del nomenclator que de acuerdo con la fotografía aérea no correspondían a ningún asentamiento existente en esas coordenadas. Con base a consultas con pobladores locales, se pudo determinar el nombre correcto de varias localidades.

### **Digitalización y proyección geográfica.**

La digitalización de la cartografía utilizada comenzó con la proyección de coordenadas de control (tics) en *ARC INFO* utilizando el comando *Project* la proyección de tics se hizo para cada carta individual considerando su ubicación en la zona UTM No. 16 o en la zona 15 (**Figura 2**).





**Figura 2** Cartas que corresponden a las zonas UTM 15 y 16.

El registro de las cartas para ser digitalizadas se limitó a un error medio cuadrático (RMS) de entre 0.000 a 0.004. La referencia de cada carta siguió el mismo sistema de denominación en nombre y clave que el sistema del INEGI para su cartografía 1:50,000 (**Figura 3**), (**cuadro 5**).

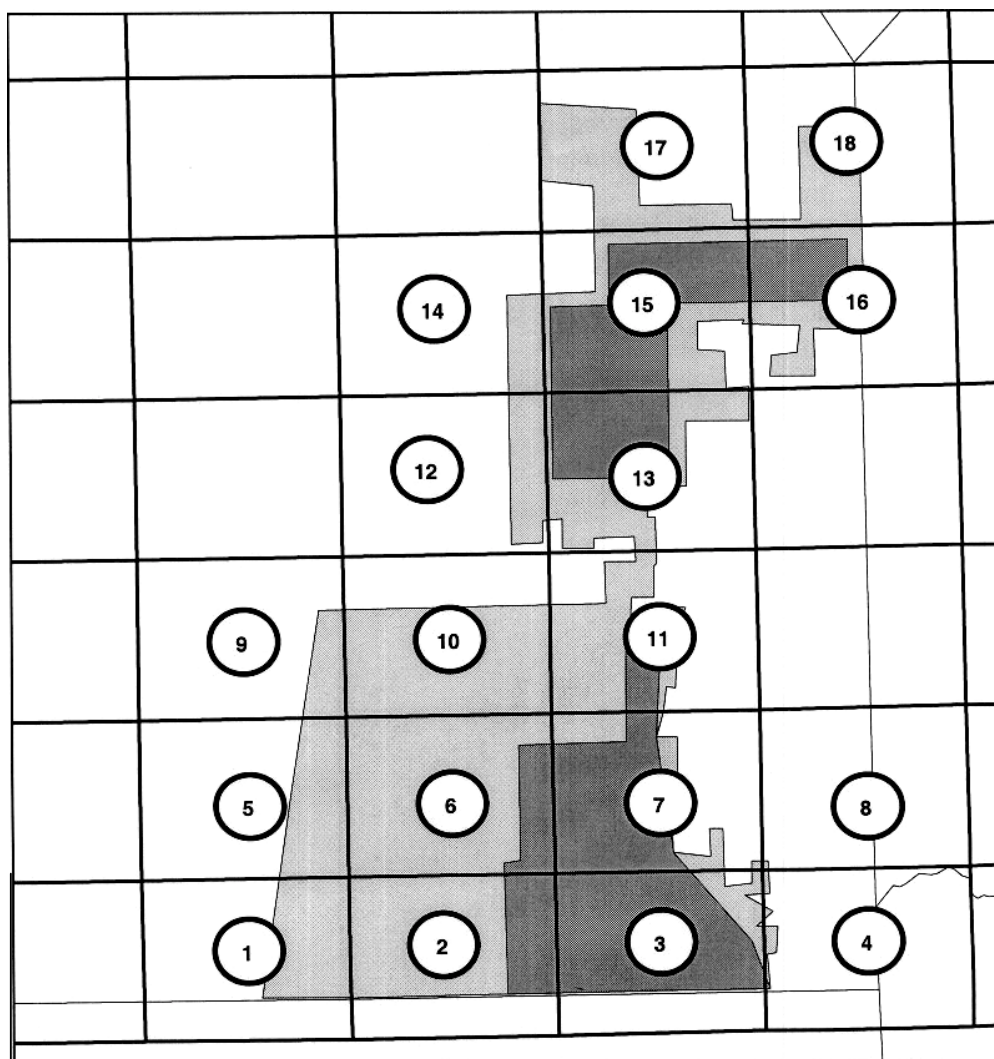


Figura 3. Concentrado de la cartografía del INEGI en escala 1:50,000 que da cubrimiento al área de estudio.

Cuadro 5. Concentrado de las cartografía INEGI, en formato de 15 x 20 'en escala 1:50,000

<i>Código</i>	<i>Nombre</i>	<i>Clave del INEGI</i>	<i>Código</i>	<i>Nombre</i>	<i>Clave del INEGI</i>
1	LA ABUNDANCIA	E15-D19	10	EL RAMONAL	E16-A71
2	VILLAHERMOSA	E16-C11	11	POLO NORTE	E16-A72
3	ALTAMIRA	E16-C12	12	CONHUAS	E16-A61
4	EL CIVALITO	E16-C13	13	ZOH LAGUNA	E16-A62
5	LA ESPERANZA	E15-B89	14	DESEMPEÑO	E16-A51
6	CALAKMUL	E16-A81	15	EL REFUGIO	E16-A52
7	EL CARMEN	E16-A82	16	5 DE MAYO	E16-A53
8	TOMAS GARRIDO	E16-A83	17	UKUM	E16-A42
9	CHAN LAGUNA	E15-B79	18	XMABEN	E16-A43

La digitalización de los distintos rasgos correspondientes a las diversas coberturas temáticas se realizó con base a un sistema de codificación numérica de los atributos de arcos y polígonos diseñado previamente. Los procesos de edición de las coberturas geográficas incluyeron la conexión de arcos y polígonos, su etiquetado, la eliminación de pseudonodos y la corrección de errores de digitalización y etiquetado. La edición de las coberturas temáticas permitió además verificar la consistencia de los códigos de identificación para arcos y polígonos (ej. Secuencia de curvas de nivel, etc).

Para aquellos temas representados en varias cartas por separado (ej. Cartografía del INEGI en escala 1:50,000), cada carta fue digitalizada de manera individual y posteriormente fueron conjuntadas con el resto para conformar las coberturas de conjunto. Para ello, las coberturas digitales de las cartas en Zona 15 fueron proyectadas a Zona 16; esto debido a que 15 de las 18 cartas en escala 1:50,000 quedan ubicadas en la zona UTM No. 16. En el caso de temas incluidos en cartografía a otras escalas, a partir de la cobertura digital de conjunto se efectuaron los cortes y proyecciones necesarias para generar las coberturas individuales. Este fue el caso por ejemplo, de la cobertura con la poligonal de la Reserva generada a partir de los límites definidos en el decreto de la Reserva.

#### **Coberturas de utilería.**

Adicionalmente a las coberturas primarias arriba indicadas, se generaron otras coberturas de utilería que facilitarían la utilización de la base geográfica (Cuadro6).

**Cuadro 6.** Listado de coberturas en formato ARC/INFO intermedias y de apoyo.

<b>Nombre de la cobertura</b>	<b>Descripción</b>
CUADRAN	Límites de las hojas del INEGI en escala 1:50,000. Cobertura de
CANEVA	Gradícula en grados y minutos geográficos. Cobertura de conjunto y
CONTORNO	Contorno del área de estudio cubierta por las 18 cartas de INEGI en
RED UTM1	Retícula UTM cada 1 km. Cobertura de conjunto y cartas por separado.
RED UTM10	Retícula UTM cada 10 km. Cobertura de conjunto y cartas por separado.
RED UTM5	Retícula UTM cada 5 km. Cobertura de conjunto y cartas por separado.
TOPONI	Cobertura con la toponimia de la región de estudio. Sólo cobertura

### C. *Modelo Digital de Elevación.*

El modelo digital de elevación (MDE) se generó a partir de las curvas de nivel cada 10 m que se digitalizaron de la cartografía del INEGI. También se empleó la cobertura de escurrimientos *superficiales*, una vez que se verificó que la dirección de los arcos fuera la correcta, es decir, la del flujo del agua. Con estas dos coberturas y utilizando el programa TopoGrid de Arc info para estación de trabajo, se generó el MDE compatible con la red de escurrimientos. Las tolerancias empleadas para generar el modelo fueron de 50 cm en lo que respecta a la altitud.

El modelo generado abarca la totalidad de la superficie cubierta por las 18 cartas topográficas del INEGI., y fue generado en un formato reticulado (GRID) y con un tamaño de pixel de 50 m por lado. El procedimiento utilizado permitió validar y corregir inconsistencias de las coberturas de curvas de nivel y de los escurrimientos. Los primeros MDE generados mostraron arcos con identificadores erróneos así como direcciones de escurrimientos incorrectas, todos los cuales fueron oportunamente corregidos hasta generar el MDE definitivo.

### D. *Controles de calidad*

Como se ha mencionado en la descripción de los distintos procedimientos efectuados, distintas operaciones involucradas en la generación de las coberturas digitales (ej. Edición de polígonos marginales) constituyeron por sí mismos controles de calidad que permitieron la identificación de errores de posición o de asignación de atributos, y por ello su corrección. La construcción del MDE obligó a la corrección de etiquetas incorrectas en las curvas de nivel, así como en la dirección errónea de escurrimientos.

Otro control de calidad aplicado fue la revisión de los rodales digitalizados a partir de la fotografía aérea con la sobreposición visual de las curvas de nivel digitalizadas a partir de la cartografía del INEGI. El arreglo y posición de las curvas de nivel permitió ajustar algunos rodales correspondientes a vegetación riparia, akalchés y selvas.

Los diversos productos generados (Cartografía impresa y la base geográfica digital en CD-ROM) fueron también sujetos a un control de calidad, por lo que numerosos errores pudieron ser corregidos antes de efectuar el análisis con el Sistema de Información Geográfica.

### E. *Diseño del formato cartográfico e impresión de la cartografía.*

El formato cartográfico para la generación impresa de los mapas de *vegetación y uso del suelo en escala 1:50,000*, se basó en los "*Lineamientos para*

la entrega de cartografía impresa y digital' determinados por la Coordinación de Sistemas de Información Geográfica de la CONABIO (1996). No obstante se propusieron algunas modificaciones de dimensión considerando la cobertura de las cartas del INEGI, las cuales fueron autorizadas por la CONABIO. Con ello se buscó que la cartografía generada en este proyecto fuera compatible con la del INEGI. Se efectuaron una serie de impresiones de prueba con el fin de determinar las texturas, colores y dimensiones más apropiados.

El formato incluye un área para el mapa principal y una tira marginal. El área correspondiente al mapa principal incluye una retícula LITM cada 1,000 m, así como una gradícula geográfica cada 4 minutos tanto en el eje longitudinal como en el latitudinal. También se incluye la toponimia que especifica los nombres de poblados, sitios arqueológicos, nombres de ríos y cuerpos de agua, bajos y aguadas. La tira marginal incluye los elementos señalados (**cuadro 7**).

**Cuadro 7.- Componentes de información incluida en la tira marginal de la cartografía generada.**

Componente	Descripción
Denominación de la carta	Nombre clave según sistema del INEGI.
Sismología	Rasgos hidrográficos, infraestructura de comunicación, hipsometría, límites de la poligonal, asentamientos o localidades, sitios arqueológicos, la frontera internacional.
Leyenda	Correspondiente al tema principal de la carta (tipos de vegetación, uso del suelo).
Escalas	Gráfica numérica.
Sistema de proyección	esferoide (Clarke 1866), Proyección geográfica (UTM), Cuadrícula (UTM a cada 1,000 m), Datum horizontal (NAD27).
Referencia de las fuentes utilizadas	(Ej. Cartas Topográficas INEGI, fotografía aérea) especificando escala, número clave de hoja, etc.
Fecha y lugar de elaboración	
Cuadro de localización	
Índice de hojas	
Créditos	Nombres logotipos de las instituciones participantes.
Nombre del proyecto	Uso actual y estado de conservación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche.
Título temático.	Ej. "Carta base" o "Carta de Vegetación y uso del suelo".

Se produjeron dos tipos de cartas: una carta base y otra de vegetación y uso del suelo.

La carta base incluye los rasgos de infraestructura de comunicación, hidrología, curvas de nivel, sitios arqueológicos, asentamientos y límites fronterizos de las hojas topográficas del INEGI en escala 1:50,000. Algunos de estos rasgos fueron actualizados con la información obtenida de la fotointerpretación y de la imagen de satélite; así mismo, se incluyó el límite de la poligonal. Las curvas maestras a cada 50 metros de altitud están acotadas y las curvas auxiliares están señaladas con un tono menor a las primeras. Los colores y las texturas utilizadas fueron las sugeridas por la CONABIO.

La carta de vegetación y uso del suelo incluye además los atributos correspondientes al tema definidos por la foto; interpretación; las curvas de nivel auxiliares sólo están determinadas para las periferias de la Reserva; esto debido a que se buscó la mayor claridad posible de los polígonos de vegetación y uso del suelo. Así mismo, se especifican las pequeñas áreas dentro de la poligonal que no contaron con cobertura fotográfica.

La impresión de las cartas se efectuó utilizando un graficador HP Draftmaster Plus MX de plumillas, el cual fue previamente calibrado para garantizar la calidad de los impresos. Las tintas fueron obtenidas a partir de mezclas específicas en correspondencia al orden de plumillas (**cuadro 8**).

**Cuadro 8.- Orden de colores asignado para la impresión de la cartografía generada**

<b>No. Numero de plumilla en el carrusel</b>	<b>Color asignado</b>
1	Rojo
2	Café
3	Verde claro
4	Cyan
5	Azul
6	Sepia
7	Negro
8	Verde oscuro

**F. Procedimientos de análisis para la determinación de la situación de transformación - conservación de la Reserva.**

Para estimar la situación de esta área protegida, se efectuó una descripción cuantitativa de las coberturas primarias y adicionalmente se efectuaron una serie de análisis espaciales a partir de la Base Geográfica Digital elaborada.

En primer término se cuantificaron las distintas superficies de vegetación y uso del suelo dentro de la poligonal de la Reserva con respecto a diversos criterios, entre los cuales se puede mencionar los siguientes:

- Ubicación con respecto a las zonas núcleo y las áreas de amortiguamiento.
- Ubicación con respecto a la categoría de tenencia de la tierra.
- Ubicación con respecto a la proximidad a vías de comunicación.
- Ubicación con respecto a la proximidad a fuentes de agua permanente.

Lo anterior permitió cuantificar las áreas conservadas y aquellas transformadas o con algún grado de perturbación.

Para poder efectuar los análisis mencionados, fue necesario generar una serie de coberturas secundarias o derivadas a partir de diversas operaciones espaciales

efectuadas sobre las coberturas básicas. Con base a ello, se generaron 9 coberturas adicionales (**Cuadro 9**). Las operaciones incluyeron la generación de áreas "buffer" de dimensiones arbitrarias (0-1 km, 1-3 km, 3-5 km) a partir de rasgos seleccionados (Ej. Vías de comunicación, cuerpos de agua) así como sobreposiciones topológicas. Estas operaciones sólo se efectuaron para las coberturas de conjunto.

**Cuadro 9.** Coberturas secundarias o derivadas.

Nombre de la cobertura	Descripción	Fuentes
INUNDA	Cobertura derivada de la sobreposición de los cuerpos <i>de agua (Hidro2) con la hipsometría ( Hinfo).</i>	Cartografía INEGI 1:50,000
VEGETERE	Cobertura derivada de la sobreposición de la Vegetación y uso del <i>suelo (Vegeuso, generada de la</i> fotointerpretación) con la tenencia de la tierra <i>(Tenencia) y la poligonal de la reserva (Reserva).</i>	Fotografía aérea interpretada
VEGEHIP	Cobertura derivada de la sobreposición de los tipos de <i>vegetación y uso del suelo para la reserva</i>	
AGUTERE	Cobertura derivada de la sobreposición de las fuentes de agua permanentes (lagunas y aguadas) sobre la	Cartografía INEGI 1:50,000
BUFCAM	Cobertura de proximidad de superficies a las vías de <i>comunicación (Buffers 0-1 Km 1-3 Km v 3-5 Km)</i>	
BUFAGUA	Cobertura de proximidad de superficies a las fuentes de <i>agua permanentes (Buffers 0-1 Km 1-3 Km v 3-</i>	
AGUAPER	Cobertura derivada de HIDRO2 que incluye solamente <i>los cuerpos de agua permanentes. Sólo cobertura</i>	
VEGEANA	Cobertura derivada de la sobreposición de la Vegetación y uso del suelo de la Reserva sobre la tenencia de la tierra, las zonas de la reserva, la proximidad a vías de comunicación y la proximidad a <i>las fuentes de agua permanentes. Sólo cobertura</i>	
POBTERE	Cobertura derivada de la sobreposición de los poblados con la tenencia de la tierra y las zonas de la	Nomenclator INEGI; este proyecto

La cuantificación de las superficies en los distintos análisis efectuados, se realizó exportando las tablas de atributos resultantes de las sobreposiciones topológicas como bases de datos al paquete ACCESS. Los conteos se expresaron tanto en términos de total de hectáreas como en porcentaje de la poligonal de la Reserva y en algunos casos del porcentaje por categoría.

Aunque inicialmente se contempló la generación de una cobertura de pendientes a partir del MDE y que pudiera ser de utilidad para los análisis de la situación de la reserva, no lo llevamos a cabo ya que consideramos innecesario realizar este análisis.

El análisis de estas coberturas secundarias o derivadas permitió caracterizar a las áreas con algún grado de transformación o perturbación en términos de los criterios arriba mencionados.

La información arrojada por los análisis de las distintas coberturas en su conjunto, permitió caracterizar a los distintos sectores de la Reserva con base a su grado de conservación, y su vulnerabilidad potencial a ser transformados (ejemplo. Por proximidad a asentamientos humanos y vías de comunicación, por régimen de tenencia de la tierra, etcétera).

Con base a lo anterior se determinaron y cuantificaron áreas críticas de conservación que pueden apoyar la toma de decisiones en la consideración de prioridad de proyectos y acciones de protección y conservación en el manejo de esta ANP.

#### **G. *Procedimientos para la generación de la carta de vulnerabilidad a la transformación de la Reserva.***

La carta de vulnerabilidad a la transformación de la reserva es un ejercicio de análisis efectuado mediante búsquedas de campos de la base geográfica de datos generada por este proyecto. Para lo cual se generaron modelos GRID que fueron utilizados para realizar búsquedas espaciales.

Las variables utilizadas fueron las siguientes:

- Tenencia de la Tierra
- Tipos de Vegetación
- Localidades humanas dentro y fuera de la Reserva
- Disponibilidad de agua
- Cercanía o lejanía a caminos

Con base en las variables mencionadas, se definieron de manera jerárquica criterios para considerar la vulnerabilidad en términos de alta y media. La variable tenencia de la tierra fue considerada crítica, ya que se consideró que existen formas de propiedad de la tierra que demandan mayor intensidad en los cambios en el uso del suelo, además la situación legal constituye la base legal para proceder a la transformación del espacio en virtud del carácter declaratorio pero no expropiatorio del decreto de la Reserva.



De acuerdo a la lógica de las transformaciones en la vegetación en el área de estudio, se consideró como vulnerabilidad alta aquellos predios bajo el régimen de propiedad privada, dotación ejidal, NCPE, proyectos de ampliación ejidal, proyectos de dotación y terrenos nacionales, luego entonces se busco la ubicación espacial con núcleos de población menores y mayores a 100 habitantes.

La vulnerabilidad media se determino considerando predios con menor intensidad de uso por lo quedaron reagrupados las formas de tenencia de la tierra relativas a ampliaciones forestales y segundas ampliaciones relacionadas con núcleos de población.

#### **H. Procedimiento para la generación de la carta de estado de conservación de la Reserva.**

La carta de estado de conservación de la reserva también es un ejercicio de análisis efectuado mediante búsquedas de campos de la base geográfica de datos generada por este proyecto. Para lo cual se generaron modelos GRID de algunas de las coberturas que fueron utilizadas para realizar búsquedas espaciales.

Las variables utilizadas fueron las siguientes:

- Presencia de vegetación (Selva alta, selva mediana, selva baja)
- Áreas transformadas (Agricultura de temporal, roza-tumba-quema, vegetación secundaria).
- caminos
- Áreas periféricas a caminos

Con base en las variables mencionadas, se definieron de manera jerárquica criterios para considerar el estado conservación en términos de conservación alta, conservación media y áreas no conservadas.

Las áreas de conservación alta, son aquellas que no presentan cambios en la cobertura forestal y no han sido accesibles mediante caminos de extracción forestal o chiclera, obviamente, tampoco existen asentamientos humanos.

Las áreas de conservación media, son aquellas que mantienen una cubierta forestal de selva, aunque se hallan cerca de superficies deforestadas en donde se ha provocado un cambio en el uso del suelo y se encuentran de dentro de un área en el perímetro de 3 kilómetros en torno a caminos de cualquier tipo.

Las áreas no conservadas son aquellas que no mantienen la cobertura forestal y en ellas se ha producido un cambio en el uso del suelo a actividades agrícolas o ganaderas.

Utilizando las coberturas mencionadas y convertidas en formato GRID

Se realizó mediante álgebra de mapas búsquedas con base en los criterios señalados

## **7. Resultados**

---

### **A. Bases geográficas y cartografía**

Los productos cartográficos generados por este proyecto son los siguientes:

#### **Cartografía impresa. -**

- Cartas base: 18 mapas impresos en escala 1:50,000.
- Cartas de vegetación y uso del suelo: 18 mapas impresos en escala 1:50,000.
- Cartas base 2 cartas impresas en escala 1:100,000
- Cartas base 1 carta impresa en escala 1:220,000
- Cartas de vegetación y uso del suelo 1 carta impresa en escala 1:220,000
- Cartas de vegetación y uso del suelo 2 cartas impresas en escala 1:100,000
- Figura de estado de conservación.
- Figura de vulnerabilidad a la transformación.

#### **Base Geográfica Digital:**

- 15 Coberturas temáticas primarias, correspondientes a 10 temas.
- Un modelo digital de elevación (MDE) del terreno.
- 7 coberturas de utilería.
- 9 coberturas secundarias.

La base geográfica digital de la Reserva fué reproducida en dos discos compactos: en el disco 1 se incluyó las coberturas en formato de PC Arc Info y en el disco 2 en formato de exportación con el fin de permitir su utilización con otros paquetes distintos al utilizado en el proyecto. Adicionalmente, el disco 1 incluye paquetes del dominio público (Ej. *Arc Explorer*), distintas utilerías e información adicional que pueden facilitar a usuarios la consulta y uso de la Base Geográfica.

### **B. Evaluación de la situación de la Reserva en cuanto estado de transformación de la vegetación.**

La cuantificación de las superficies de los tipos de vegetación y uso del suelo, identificadas a partir de las fotografías aéreas, arrojan los resultados que se muestran (**Cuadro 10**), según dichos resultados se puede determinar que, el 96.3 % de la poligonal de la reserva mantiene superficies de vegetación en buen estado de conservación, mientras que menos del 4 % presentan áreas perturbadas.

**Cuadro 10.. Superficies al interior de la poligonal según tipo de vegetación y uso del suelo.**

<b>Atributo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
Acahual Arboreo	5,383.72	0.75
Acahual Arbustivo	10,595.16	1.47
Acahual Herbaceo	3,282.75	0.45
Akalche	82,589.65	11.44
Agricultura de Temporal	1,412.70	0.20
Aguadas	348.17	0.05
Cultivos Perennes	13.16	0.00
Jaguey	5.48	0.00
Laguna Perenne	72.97	0,01
Pastizal	1,802.39	0.25
Poblados	260.87	0.04
Roza-Tumba-Quema	2,392.57	0.33
Selva Alta	9,781.47	1.35
Selva Baja	105,616.35	14.63
Selva Baja Caducifolia	2,469.78	0.34
Selva perturbada por incendió	471,650.19	65.31
Selva Mediana Subcaducifo	10,108.66	1.40
Selva Quemada	167.44	0.02
Sin Cobertura Fotográfica	314.42	0.04
Sin Vegetación Aparente	45.02	0.01
Vegetación Hidrófila	1,581.87	0.22
Vegetación Riparia	11,850.56	1.64
Zona Arqueológica	376.34	0.05
<b>Total</b>	<b>722,121.69</b>	<b>100.00</b>

**Distribución de superficies agrícolas y vegetación secundaria (acahuales)**

Las áreas que durante los últimos treinta años han sido perturbadas o transformadas por actividades humanas representan 25,310.76 ha dentro del polígono de la Reserva y ocupan el 3.51 % (**Cuadro 11**). Se relacionan espacialmente con la ubicación de las localidades humanas y sobre las principales vías de comunicación en la región. En dirección norte sur la carretera que va de U kum- X Pujil- Aguas Amargas, en el sector sur se presenta un proceso de ocupación humana generado a partir de concesiones ejidales y NCPE lo cual ha sido resultado de un programe de colonización humana y reparto agrario. El norte de la Reserva se caracteriza por transformaciones inducidas por una ganadería de pequeños propietarios.

El eje este - oeste que divide a la Reserva en sector norte y sur, presenta un patrón mixto en donde ocurre la propiedad de carácter social, pequeños propietarios de ranchos ganaderos y el sector empresarial (de más reciente ingreso), con la introducción de servicios y turismo. Debido a lo reducido del polígono en este sector, resulta crítico la fragmentación de la Reserva por deforestación y cambio de uso del suelo.

### ***Tipos de vegetación***

Reagrupando las categorías consideradas (tipos de vegetación), que existen en la Reserva y que fueron clasificadas como selvas altas, medianas, medianas subcaducifolias, bajas, bajas caducifolias y bajas inundables (akalches), vegetación hidrófita y riparia, todas ellas ocupan una extensión de 695,648.53 ha, equivalente al 96.33% de la Reserva (Cuadro 11).

La cartografía obtenida en este proyecto, representa un corte en el tiempo desde el punto de vista de su distribución espacial, puede ser tomada como referencia para estudios en el futuro que permitan observar los cambios en el arreglo espacial, así como las tendencias que definirán la permanencia de las masas forestales o su fragmentación .

La presencia o ausencia de cualquiera de los tipos de vegetación reconocidos en la cartografía, obedece a múltiples causas y su explicación escapa a los objetivos de este trabajo, ya que la distribución espacial expresada en la cartografía es estática, mientras que un análisis de la dinámica de la vegetación podría ayudar a comprender procesos.

La distribución espacial de las selvas altas, medianas y bajas; depende de múltiples factores entre los que se puede mencionar el funcionamiento hídrico superficial, en virtud de que la ausencia o abundancia de agua en el suelo es determinante para muchas especies. Las condiciones topográficas influyen considerablemente en el comportamiento del agua en el suelo y de la dinámica de los procesos geomorfológicos, la composición y génesis de la litología superficial también juega un papel importante en el desarrollo de los suelos, que a su vez favorecen o limitan el desarrollo de las comunidades vegetales, también se debe mencionar que existen variaciones en las condiciones climáticas y que también influyen en el arreglo espacial de la vegetación. Las variables mencionadas tienen un comportamiento específico para las diversas situaciones que ocurren en el espacio considerando que el espacio no es isotrópico.

**Cuadro 11. Distribución general de atributos, según superficie dentro de la poligonal.**

<b>Atributo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
Acahual, agricultura, ganadería	25,310.76	3.51
Laguna perenne, aguadas, jaguey	426.62	0.06
Tipos de vegetación (Selvas, vegetación hidrófita y riparia)	695,648.53	96.33
Otros (Sin cobertura fotográfica, sin vegetación aparente, Zonas Arqueológicas).	735.78	0.10
<b>TOTAL</b>	<b>722,121.69</b>	<b>100.00</b>

*Tenencia de la tierra y polígono de la Reserva de la biosfera Calakmul.*

De acuerdo con los datos de la poligonal conforme al decreto con el procedimiento ya señalado, la superficie contenida en el polígono resulto ser de 722,121.69 hectáreas; éste cálculo arroja una diferencia de 1,063.31 ha menos de la superficie estipulada en el decreto. Las zonas núcleo en su conjunto ocupan el 34.3 % de la poligonal mientras que el resto corresponde a las áreas de amortiguamiento (**Cuadro 12**).

**Cuadro 12. Extensión y proporción de las superficies determinadas para cada una de las zonas de la Reserva dentro de la poligonal decretada.**

<b>Zona</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
Area de amortiguamiento	474,203.82	65.67
Zona núcleo norte	100,345.09	13.90
Zona núcleo sur	147,572.78	20.44
<b>Total</b>	<b>722,121.69</b>	<b>100.00</b>

En lo que se refiere a las categorías de tenencia de la tierra de las superficies abarcadas en la poligonal de la Reserva, se puede mencionar que el 51.09 % se ubica en Terrenos Nacionales y que el resto está principalmente en propiedades ejidales; únicamente el 2.15 % corresponde a propiedades privadas (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Superficies de la Reserva según categoría del tipo de tenencia de la tierra.**

<b>Categoría del tipo de tenencia de la tierra</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la polígona}</b>
AMPLIACION FORESTAL	269,566.16	37.33
DOTACION	19,070.60	2.64
INDETERMINADO	1,636.81	0.23
N.C. P.E.	21,625.49	2.99
PROPIEDAD PRIVADA	15,500.08	2.15
PROYECTO DE AMPLIACION	3,498.98	0.48
PROYECTO DE DOTACION	15,851.93	2.20
SEGUNDA AMPLIACION	6,448.41	0.89
TERRENOS NACIONALES	368,923.25	51.09
<b>Total</b>	<b>722,121.71</b>	<b>100.00</b>

**Descripción cuantitativa de los tipos de vegetación y usos del suelo en la Reserva.**

**a) Selva alta**

Este tipo de vegetación esta constituido por masas forestales cuya altura media del dosel sobrepasa los 25 metros de altura, existen surgencias de hasta 40 metros de altura. Algunas de las especies mas comúnmente identificadas son: Chicle, (*Manilkara zapota*), (*Dialium guianensis*), (*Vatairea Lundellü*), Chaca rojo, (*Bursera simaruba*), (*Simaruba glauca*), Cedro, (*Cedrela mexicana*), (*Ficus yucatanensis*), Ramón, (*Brosimum allicastrum*), Caoba, (*Switenia macrophylla*).

La selva alta la encontramos en el sector norte de la Reserva dentro de la zona núcleo sobre laderas de escasa pendiente al pie de estructuras que propician condiciones de mayor humedad en el suelo; son más abundantes en la zona sur de la Reserva en donde se localizan sobre suelos mejor desarrollados cuando

presentan condiciones de buen drenaje, generalmente sobre laderas de débil inclinación y sobre los márgenes fluviales en donde los suelos son más profundos y mantienen buenas condiciones de permeabilidad; también se aprecian al sureste (límite con Guatemala), sobre laderas de pendientes moderadas en la zona en donde ocurren las máximas precipitaciones de la región (1,200 mm). Los rodales clasificados con dicha categoría tienen una distribución relativamente limitada dentro de la Reserva. Según el cálculo realizado cubren una superficie de 9,781.47 ha (1.35 % del total de la Reserva), (Figura 4).

**b) Selva mediana y selva mediana subcaducifolia**

Esta comunidad vegetal es predominante dentro de los límites de la Reserva; la altura media que alcanza el dosel de estas masas forestales oscila entre 15 y 25 metros sobre el terreno. Algunas especies son árboles emergentes y rebasan la altura mencionada, tales como La Ceiba (*Ceiba pentandra*), El Ramón (*Brosimum alicastrum*), El Chicle (*Manilkara zapota*), El Palo mulato (*Bursera simaruba*), entre otras. Por la permanencia de su follaje este tipo de vegetación fue clasificado en selva mediana, una subdivisión fue realizada y clasificada como selva mediana subperennifolia, en virtud de que se observó que aproximadamente entre el 25 y el 50% de los árboles pierden su follaje durante la época más seca del año.

La selva mediana se extiende sobre todo tipo de relieve a excepción de las superficies de planicie con drenaje deficiente, estas selvas dominan en el sector sur de la reserva en donde existen condiciones de mayor humedad; la selva mediana subcaducifolia se presenta sobre planicies, laderas y mesetas principalmente en el sector norte de la Reserva, (que es más seco). Los diámetros del fuste no rebasan los 40 cm, excepto en especies como el cedro, la caoba, el chicozapote y el Ramón. Además del estrato arbóreo, se presenta un estrato arbustivo de aproximadamente 3 metros de altura, el estrato herbáceo no se encuentra bien definido.

Este tipo de vegetación se desarrolla sobre suelos derivados de la roca caliza que evidencia una evolución temprana por lo que existe una marcada influencia del material parental; la posición geográfica que ocupan los mantiene fuera de la zona de inundación (Figura 5). La selva mediana cubre un área dentro de la Reserva de 471,650.19 ha, la selva mediana subcaducifolia 10,108.66 ha, lo que representa el 65.31 y el 1.40 % respectivamente.

**c) Selvas bajas**

Este tipo de vegetación comprende a aquellas comunidades vegetales que tienen una altura promedio del dosel por debajo de los 15 metros de altura; fueron diferenciadas por su fisonomía y ubicación en tres subtipos; selva baja, selva baja caducifolia y selva baja inundable (akalché). algunas de las especies más comunes de este tipo de vegetación son *Manilkara zapota*, *Bursera simaruba*,

*Bucida buseras*, *Cordia dodecandra*, además varias Gramíneas y Cyperaceas . La selva baja inundable (akalché), incluye los llamados tíntales con abundancia de "palotinto" o "palo de campeche" *Haematoxylum campechianum*. Es frecuente la abundancia de epífitas, sabanas y tulares. Los suelos característicos en estas asociaciones son también llamados akalchés, que corresponden a suelos de "g/ey" característicos por su alto contenido de arcillas. La selva baja ocupa una extensión de 105,616.35 ha, es decir el 14.63%; su distribución es muy amplia tanto en el norte como en el sur de la Reserva. Comunidades de selva baja fueron clasificados como caducifolia debido a que aproximadamente el 50 al 75% de las especies pierden sus hojas en la época seca del año, ocupa una extensión de 2,469.78 ha (0.34%), y se ubica principalmente al norte de la Reserva,. La selva baja inundable (akalché), ocupa una extensión de 82,589.65 ha (11.44% del total de la Reserva), (**Figura 6**);

Si bien las inundaciones tienen un gran efecto sobre la fisonomía y composición de las asociaciones, estas no son el único factor que determina dichas características de la vegetación en el área. La variabilidad en la naturaleza y características del sustrato son igualmente factores incidentes

#### **d) Vegetación hidrófita.**

En este tipo de vegetación quedaron agrupadas, varias especies de hidrófitas, que están restringidas a superficies y orillas de las aguadas y zonas de inundación. Los tulares, dentro de la Reserva son muy reducidos y están asociadas a cuerpos lacustres, sobre todo en las depresiones cársticas que se encuentran colmatadas o en proceso de azolve.

Las especies principales de hidrófitas son *Typha dominguensis*, lechuga de agua (*Pistia stratiotes*).

Se localizan en las cercanías de cuerpos de agua en ambos sectores de la Reserva, sobre superficies colectoras de escurrimientos llamados bajos inundables, la superficie contabilizada en esta categoría es de 1,581.87 ha.

### **Uso del suelo**

#### **a) Acahuals y Roza tumba quema**

Los acahuals (vegetación secundaria), como ya fue mencionado fueron referidos con el nombre popular con los que los mexicanos conocemos a los estados sucesionales de la vegetación. Fueron clasificados en tres tipos; acahuals herbáceos (de 1 a 5 años), arbustivos ( de 5 a 10 años) y arbóreos (de mas de 10 años). Están ligados directamente a la práctica agrícola del sistema de roza tumba quema, sobre todo los primeros dos estados evolutivos, es decir el



herbáceo y el arbustivo, que pueden considerarse como tierras en descanso para recuperar la fertilidad de los suelos.

El sistema agrícola tradicional practicado por los campesinos y grupos indígenas de las zonas tropicales de nuestro país es la actividad más extendida en la región de Calakmul y es utilizada por los colonos que producen bajo el esquema de una agricultura de subsistencia de maíz, frijol, chile y calabaza. Ocupa dentro de la Reserva 2,392.57 ha (0.33). Su distribución dentro de la Reserva es principalmente en el sector oriente y sobre el eje de colonización este oeste. La localización de las superficies agrícolas y de acahuals se relacionan directamente con la cercanía de localidades humanas y del régimen de la tenencia de la tierra, los asentamientos humanos forman vectores a lo largo de caminos que han servido de ejes a la colonización humana (**Figuras 7,8,9**).

*b) Agricultura de temporal*

El cultivo que mayor expansión ha tenido en la región durante los últimos años es la siembra de Chile xalapeño, debido al relativo éxito económico que representa para los productores. Los ejidos que mayor superficie han dedicado a este cultivo es La Guadalupe, Dos Naciones y Dos Aguadas, la superficie que contabilizamos es de 1,412.70 ha (**Figuras 8,9**).

*c) Pastizales*

En general, la práctica ganadera no ha tenido una gran expansión en la zona debido a la escasez de agua superficial durante la época seca. Sin embargo, en la sección norte de la Reserva, se está desarrollando de manera más rápida la práctica ganadera ya que se aprovecha la proximidad de aguas subterráneas que si puede beber el ganado. La cuantificación de este uso del suelo arrojó la superficie de 1,802.39 ha.

**C. Tenencia de la tierra, pobladores y Reserva de la Biosfera Calakmul.**

La expedición del Decreto de Creación de la Reserva, ha provocado que los pobladores locales se muestren bajo desconfianza con respecto a la situación de la tenencia de la tierra y la Reserva de la Biosfera de Calakmul, en gran parte debido a la falta de información sobre las implicaciones legales y las funciones que debe desempeñar la Reserva.

Debido a la complejidad que presenta la poligonal de la Reserva en ciertos sectores, se infiere que el criterio para su delimitación, fué la tenencia de la tierra (**Figura 1(I)**), ya que quedaron incluidos dentro de las zonas núcleo de la Reserva; ejidos legalmente constituidos, Nuevo Centro de Población Ejidal NCPE, proyectos de dotación ejidal, proyectos de ampliación ejidal, ocupantes de terrenos nacionales y pequeños propietarios.

Con respecto a la vulnerabilidad a la transformación en la Reserva, las zonas de vulnerabilidad alta se ubican en el sector oriente, en donde se han dado la mayor parte de las dotaciones ejidales con fines agrícolas y ganaderos, al sur de la Reserva se aprecia mayor complejidad en cuanto a la posesión de la tierra ya que se localizan en el borde oriental 26 eventos de ocupación (**Figura 11**).

La Región se puede definir como receptora de población de otros estados de la República, campesinos que vienen en busca de tierras para la subsistencia y que actualmente son los ocupantes, el estado de conservación de la Reserva esta influido por la existencia de caminos para las prácticas antiguas, la extracción de madera y chicle, y las nuevas, agricultura y ganadería, Las áreas conservadas desde el punto de vista de la continuidad de la cubierta forestal (**Figura 12**), se encuentran alejadas de vías de acceso y asentamientos humanos

La tenencia de la tierra es una variable muy importante por definir en el caso de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, pues tienes que ver con los derechos agrarios de los ocupantes y no debe de entrar en contradicción con los objetivos de conservación y preservación de recursos naturales para lo que ha sido creada esta área protegida, la situación particular que se encontró en este trabajo sobre la distribución de las formas de tenencia de la tierra dentro del polígono de la Reserva se muestra en el cuadro 14.

**Cuadro 14.- Distribución de las superficies de la reserva según predio o propietario (Las superficies correspondientes a los ejidos conjuntan su dotación y distintas ampliaciones).**

<b>Predio 1 propietario</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
22 DE ABRIL	3,747.1	0.52

<b>Predio 1 propietario</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
AIRAN ANA	212.99	0.03
ALEJANDRAS	183.09	0.03
BEL-HA	321.82	0.04
CENTRAL CHICLERA		
VILLAHERMOSA	23,808.37	3.30
COSTA MAYA	3,465.52	0.48
DOS LAGUNAS	4,444.26	0.62
DULCE MARIA	201.36	0.03
EJIDO 11 DE MAYO	998.29	0.14
EJIDO ALVARO OBREGON	99.26	0.01
EJIDO CANCABCHEN	13,502.79	1.87
EJIDO CHANYAXCHE	18,331.92	2.54
EJIDO CHICHONAL	811.82	0.11
EJIDO CHUN-EK	6,349.15	0.88
EJIDO CONCEPCION	17,229.90	2.39
EJIDO	49,840.39	6.90
EJIDO CONHUAS	33,936.89	4.70
EJIDO DOS NACIONES	1,665.14	0.23
EJIDO DZIBALCHEN	3,081.04	0.43
EJIDO ECHEVERRIA CASTELLOT	941.06	0.13
EJIDO EL CARRIZAL	1,507.72	0.21
EJIDO EMILIANO ZAPATA	628.78	0.09
EJIDO HOPELCHEN	848.61	0.12
EJIDO ICH-EK	14,985.06	2.08
EJIDO ICKA-CHE	20,768.80	2.88
EJIDO JOSE MARIA MORELOS	2,961.51	0.41
EJIDO KM. 120	476.03	0.07
EJIDO LA GUADALUPE	4,512.93	0.62
EJIDO LA LUCHA	72.08	0.01
EJIDO LAS PALMAS	888.89	0.12
EJIDO LEY DE FOMENTO		
AGROPECUARIO	2,400.28	0.33
EJIDO NINIOS HEROES	1,223.23	0.17
EJIDO NUEVO CAMPANARIO	741.70	0.10
EJIDO PACHUITZ	1,765.88	0.24
EJIDO PUEBLA DE MORELIA	830.35	0.11
EJIDO SANTA RITA BECANCHEN	19,959.77	2.76
EJIDO VALENTIN GOMEZ FARIAS	38.02	0.01
EJIDO XCUPI LCACAB	61,279.65	8.49
EJIDO YOHALTUN	15,801.33	2.19
EL CHILAR	28.37	0.00
EL CONDOR	203.07	0.03
EL CRISTO	198.67	0.03

<b>Predio   propietario</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Porcentaje de la poligonal</b>
EL LIMON	307.26	0.04
EL PISTE	203.82	0.03
EL PORVENIR	316.24	0.04
EL VOCHO	192.64	0.03
INNOMINADOS	220,921.46	30.59
LA UNION 20 DE JUNIO	3,489.33	0.48
LAS DELICIAS	3,700.88	0.51
LAS ISABELES	331.88	0.05
MONSIA	195.48	0.03
MORRIS	213.78	0.03
NCPE ARROYO NEGRO	105.87	0.01
NCPE CENTAUROS DEL NORTE	9,683.26	1.34
NCPE CRISTOBAL COLON	1,385.05	0.19
NCPE FELIPE ANGELES	1,164.99	0.16
NCPE JUSTO SIERRA MENDEZ	359.42	0.05
NCPE NARCISO MENDOZA	772.16	0.11
NCPE PLAN DE SAN LUIS	8,129.57	1.13
NCPE RICARDO PAYRO GENE	131.04	0.02
SAH IGON	193.40	0.03
SAN JOSE	494.15	0.07
SAN NICOLAS	340.70	0.05
SAN ROMAN	2,214.96	0.31
TERRENOS NACIONALES	131,576.07	18.22
THOR	198.00	0.03
YURI VAN	193.10	0.03
ZITACUARO	14.26	0.00
<b>Total</b>	<b>722,121.71</b>	<b>100.03</b>

## **8. Conclusiones.**

---

### **A. Situación actual del estado de conservación de la Reserva.**

Los datos obtenidos sobre el estado de transformación de las superficies forestales de la Reserva, indica que 17,696.34 ha están siendo sometidas a un uso agrícola intermitente y permanente, adicionalmente 1,802.39 ha son dedicadas a la actividad pecuaria, ambas superficies suman un área de 19,498.73 ha que representan las mayores transformaciones al paisaje natural, un componente de perturbación que no ha sido considerado en este trabajo es la actividad forestal que ha sido muy expandida en la reserva, de ella solo podemos observar la intensa red de caminos que sirvieron para extraer el recurso forestal, otra actividad forestal que ha tenido una gran importancia a sido la extracción del látex del chicozapote, sin embargo no ha habido un impacto espacial observable con las técnicas utilizadas en este trabajo.

Las zonas que han sido sujetas a cambio en la vegetación por uso del suelo dentro del área de estudio, están ubicadas en el sector oriental de la Reserva, tanto al norte como al sur de la superficie protegida y están relacionadas directamente con proyectos de colonización humana inducida por acciones del gobierno en los últimos 30 años. La región de Calakmul fue elegida como válvula de escape a la presión agraria ejercida por campesinos sin tierras de diversos estados del país, los cuales son los actores sociales que construyen sus espacios productivos e inducen cambios en la vegetación al interior de la Reserva.

La gran cantidad de vértices y la complejidad del polígono de la Reserva indica que el criterio fundamental sobre el cual se construyó los límites legales de esta área protegida fue la tenencia de la tierra, mientras que fue soslayada la información biológica y socioeconómica, desafortunadamente la información sobre la tenencia de la tierra utilizada fue imprecisa y no actualizada por lo que el decreto resulta con gran cantidad de sobrelapes con respecto a otras dotaciones agrarias.

La gran extensión superficial que la Reserva alcanza y su conexión con otras áreas protegidas (Reserva Maya) la hacen una zona ideal para mantener poblaciones animales y vegetales de los ecosistemas que preserva, así como permitir flujos biológicos naturales de material genético.

Con el fin de hacer operativo el funcionamiento de esta área protegida se debe trabajar en una zonificación que considere aspectos biológicos, socioeconómicos y legales en términos de la tenencia de la tierra, en dicha medida será posible establecer programas de conservación, aprovechamiento, restauración y monitoreo de los recursos naturales.

Considerando la gran extensión superficial que abarca la Reserva de Calakmul y las áreas que han sido dedicadas a otros usos, se puede afirmar que la Reserva se encuentra bien conservada, la intensa red de caminos y tarjas de extracción para aprovechamiento forestal es indicativa del saqueo que se ha hecho de maderas finas tropicales esto seguramente a tenido algún efecto sobre algunas especies en particular, sin embargo la cubierta forestal se mantiene así como la gran riqueza de especies que la caracteriza.

## **9. Referencias**

- Bear, J. S., 1944. Climax vegetation in tropical America. Ecology 25: 127-158.
- Bear, J. S. 1946. Los Clímax de vegetación en la América tropical. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Medellín, Colombia. 6: 225-293
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1996. Lineamientos para la entrega de cartografía impresa y digital. Coordinación de Sistemas de Información Geográfica. México, D.F., No publicado. 11 pp.
- Flores, S., 1990. Reporte preliminar de la vegetación de la Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche. Universidad Autónoma de Yucatán. Licenciatura en Biología. Mérida, Yucatán. Manuscrito. 21 pp.
- García-Gil, G., 1991. " Reconocimiento geomorfológico y estado de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera de Calakmul". Ecosfera, Pronatura Península de Yucatán. 21 pp. + 6 mapas.
- García-Gil, G., 1993. "Cartografía temática para el manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche: Tenencia de la tierra y uso del suelo. ECOSFERA - PRONATURA Península de Yucatán. 23 pp. + 6 mapas.
- García-Gil, G. e I.J. March, 1990. Elaboración de Cartografía temática básica y base geográfica de datos para la zona de Calakmul, Campeche. Informe Final. Centro de Estudios para la Conservación de los Recursos Naturales, A.C.. San Cristóbal L.C., Chiapas. 68 pp. + 8 Figs + Anexo Cartográfico.
- Gobierno del Estado de Campeche, 1997. Mapa del Estado de Campeche (División política). Secretaría de Obras Públicas y Comunicaciones. Escala 1:600,000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1981. Guías para la interpretación de Cartografía: Uso del Suelo. Aguascalientes. 41 pp + anexos.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1984. Carta de Vegetación y Uso del Suelo Felipe Carrillo Puerto (E16-1). Esc. 1:250,000. Aguascalientes, México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1985. Carta de Vegetación y Uso del Suelo Chetumal (E1 6-4-7). Esc. 1:250,000. Aguascalientes, México.

Lauer, W., 1968. Problemas de la división fitogeográfica en América Central, in: . F. Duemmers Verlag (ed.). Geoecología de las regiones montañosas de las Américas Tropicales. Bonn. Pp. 139-156.

Leopold, A. S., 1950. Vegetation zones of Mexico. Ecology 31: 507-518.

López Blanco, J., Valdez-Muciño, I. y J. Ugalde Rivera, 1995. Corrección fotogramétrica de segmentos digitalizados de fotografías aéreas aplicando un SIG. Boletín SELPER-México. No. 30-31, Pp. 6-24.

Lugo Hupb, J., 1991. Elementos de geomorfología aplicada. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 109 pp.

Lundell, C. L., 1934. Preliminary sketch of the phytogeography of the Yucatán peninsula. Carnegie Institution of Washington. Contributions to American Archaeology, Vol. II. No. 12.

March, I.J., 1992. Estudio para la auto-regulación de la cacería de subsistencia en la Reserva Calakmul, Campeche. Informe final. Centro de Estudios para la Conservación de los Recursos Naturales, A.C., San Cristóbal de las Casas, Chiapas. No pubj. 60 pp,

Miranda, F. y E, Hernández X., 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bat. Méx. 28: 29-179



- Muller-Dombois, D., 1984. Classification and mapping of plant communities: A review with emphasis on tropical vegetation. in: Woodwell, G.M. (ed.). The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: Measurement by remote sensing. SCOPE. John Wiley & Sons. Pp. 21-88.
- Ogneva-Himmelberger, Y. and B. L. Turner, 1995. Land-Use/Cover in the southern Yucatan Peninsula region. Proposal to the National Science Foundation.
- Rzedowski, J., 1981. Vegetación de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Ed. Limusa. Noriega Editores, 1994. 432 pp.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1976. Inventario Nacional Forestal: Cartografía del Estado de Campeche. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. México, D. F.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Dirección de Normatividad y Regulación Ecológica. Subsecretaría de Ecología. México, D. F., 355 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, Gestión de Ecosistemas, A.C., Programa de Acción Tropical, A.C., Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, A.C., Centro de Ecología, U.N.A.M., Grupo Comercial Argo, 1995. Proyecto sobre las Areas Naturales Protegidas de México. Tomo I + II. México, D.F.
- UNAM-SEMARNAP, 1994. Inventario Nacional Forestal 1994. Cartografía en Escala 1:250,000. Instituto de Geografía. México, D.F.