



**ESTUDIO DE LA SUCESION SECUNDARIA DE LAS SELVAS
DEL NORTE DE YUCATAN POR MEDIO DE PERCEPCION
REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA:
UNA APLICACION A LA ZONIFICACION ECOLOGICA
DE LA REGION**

**INFORME FINAL
SISIERRA**

**Dra. Ingrid Olmsted
M.C. José A. González I-A.
Biól. Fernando Tun Dzul**

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA DE YUCATAN

12 Mayo 99 - em

CENTRO DE INVESTIGACION
CIENTIFICA DE YUCATAN, A.C.
RECIBIDO
12 MAY 1999
RECIBIDO
DIRECCION ACADEMICA



INDICE

	Página
Introducción	1
Antecedentes	3
Objetivos	5
Metas	5
Zona de Estudio	6
<i>Generalidades</i>	6
<i>Aspectos Físicos</i>	7
<u>Clima</u>	7
<u>Geología y Suelos</u>	7
<u>Vegetación</u>	8
Metodología	10
<i>Muestreo de vegetación</i>	10
<u>Selección de los sitios de muestreo</u>	10
<u>Muestreo de vegetación</u>	10
<i>Percepción remota</i>	12
<i>Sistema de Información Geográfica</i>	12
Resultados	14
<i>Vegetación</i>	14
<u>Composición y Riqueza de Especies</u>	14
<u>Fisonomía (Estructura)</u>	14
Densidad	15
Area basal y altura	15
Valores de importancia	16

	Página
Similitudes	17
<i>Clasificación de vegetación y cambios en la cobertura del suelo por percepción remota.</i>	17
<u>Vegetación actual</u>	17
<u>Cambios en la vegetación</u>	18
Tendencias generales	18
Tendencias regionales	20
Municipios	21
Agropecuario	21
Selva baja caducifolia	21
Sucesión secundaria intermedia	22
Sucesión secundaria temprana	22
Urbano	22
<i>Tipos de suelo de la región</i>	23
<i>Aspectos geológicos</i>	23
<i>Conocimiento florístico</i>	24
<i>Elevación del terreno</i>	24
<i>Restos arqueológicos</i>	24
<i>Sobreposición de capas de información</i>	25
<u>Relación entre clases de cobertura y suelos</u>	25
<u>Relación entre clases de cobertura y geología superficial</u>	25
<u>Relación entre clases de cobertura y elevación</u>	25
<u>Relación entre clases de cobertura y flora</u>	26
<u>Relación entre clases de cobertura y restos arqueológicos</u>	26

Discusión	Página 27
Conclusiones	34
Literatura citada	37

Índice de Figuras

	Página
1. Región de Estudio en el Norte de Yucatán	
a - Los municipios y sus límites	44
b - Los municipios y los límites de la imagen de satélite	
2. Diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas presentes en la zona de estudio. Fuente: Orellana et al. en prensa.	45
3. Ubicación de los sitios de muestreo	46
4. Curva de especies - Tamaño de muestra	47
5. Número de Familias y especies	48
6. Riqueza de especies leñosas por sitio	49
7. Número de Tallos e Individuos en la sucesión tardía e intermedia	50
8. Area basal en sucesión tardía e intermedia en los 5 sitios	51
9. Distribución de clases de altura	52
10 Distribución de clases de área basal	53
11 a. Clases de cobertura para el año de 1995	54
b. Clases de cobertura para el año de 1985	55
12. Superficie de las coberturas en 1985 y 1995	56
13. Transición de 1985 a 1995	57
14. Clases de cobertura por municipio para 1985 y 1995	58
15. Superficie de selva baja (SS3) en 1995	59

16. Superficie de suelos en la zona de estudio	Página 60
17. Mapa de suelos	61
18. Mapa de Geología	62
19. Distribución de las colectas de flora depositadas en el Herbario CICY	63
20. Modelo de elevación digital de terreno	64
21. Vestigios arqueológicos en la zona de estudio	65
22. Clases de cobertura y tipos de suelo	66
23. Clases de cobertura y edad geológica	67
24. Clases de cobertura y elevación	68
25. Colectas florísticas y clases de coberturas	69
26. Mapa de arqueología	70
27. Cambio de selva baja (SS3) 1985-1995	71
28. Zonificación ecológica de área	72

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. No. de especies en sitios de sucesión secundaria temprana	73
Cuadro 2. Valores de importancia. Sucesión avanzada	74
Cuadro 3. Valores de importancia. Sucesión intermedia	75
Cuadro 4. Valores de importancia. Sucesión temprana	76
Cuadro 5. Índice de similitud	77
Cuadro 6. Comparación entre estadios sucesionales tardío e intermedio	78
Cuadro 7. Superficie ocupada por cada una de las clases de cobertura encontradas en la zona de estudio.	79
Cuadro 8a y 8b Superficies de clases 85-95 (Ha.)	80
Cuadro 9. Cambios de superficie a nivel municipio	81
Cuadro 10. Cambios en la clase Agropecuario. Decremento de la superficie	82
Cuadro 11. Cambios en la clase Agropecuario. Incremento de la superficie	83
Cuadro 12. Cambios en la clase SS3 o selva baja. Decremento de la superficie	84
Cuadro 13. Cambios en la clase SS3 o selva baja. Aumento de la superficie	85
Cuadro 14. Cambios en la clase SS2. Aumento de la superficie	86
Cuadro 15. Cambios en la clase SS2. Disminución de la superficie	87
Cuadro 16. Cambios en la clase SSI. Aumento de la superficie	88
Cuadro 17. Cambios en la clase SS1. Disminución de la superficie	89
Cuadro 18. Cambios en la clase Urbano. Aumento de la superficie	90

	Página
Cuadro 19. Cambios en la clase Urbano. Disminución de la superficie	91
Cuadro 20. Tipos de suelos y superficie que abarcan en la zona de estudio.	92
Cuadro 21. Edad del estrato geológico y superficie que abarcan en la zona de estudio	93
Cuadro 22. Conocimiento florístico de los municipios de la zona de estudio	94
Cuadro 23. Lista de especies endémicas en la región de estudio.	95
Datos del Herbario-CICY	95
Cuadro 24. Clases de elevación del terreno (metros sobre el nivel del mar) y superficie ocupada	97
Cuadro 25. Restos arqueológicos en la zona de estudio	98

INTRODUCCION

El crecimiento de la población a nivel mundial y la aplicación de nuevas tecnologías al aprovechamiento de los suelos, la deforestación, la urbanización, la agricultura moderna, la ganadería, el turismo, etc., y las perturbaciones naturales muchas veces tienen un efecto negativo sobre la tierra. En la búsqueda de diferentes mecanismos para el uso del suelo en beneficio de los habitantes, se necesita conocer un conjunto de información del terreno desde estados anteriores y actuales de la vegetación, su estructura y sus campos de factores ambientales, como son el clima (precipitación), el suelo y los factores socioeconómicos que prevalecen en el lugar. Con la ayuda de imágenes de satélite y la aplicación de sistemas de información geográfica sobre la información se puede establecer modelos que podrían apoyar a la ordenación ecológica de una región. El trabajo de este informe propone una base para el ordenamiento de la zona henequenera al norte de Mérida.

La vegetación de la Península de Yucatán ha sido manejada por el hombre desde tiempos ancestrales con la finalidad de obtener alimentos y bienes para su uso. La principal forma de apropiación de la naturaleza ha sido la agricultura por medio del sistema de roza, tumba y quema, aunque más recientemente las actividades forestales, ganaderas, mineras y de agricultura permanente tecnificada han aparecido en el escenario. El impacto de todas estas actividades en la vegetación natural ha sido diverso ya que en algunos casos ésta ha sido suprimida del todo, pero en otros casos ha permanecido ya sea por sobrevivencia o por regeneración natural. Este último proceso es de vital importancia ya que ha sido el de más amplia distribución, al menos geográfica y cronológicamente, y el que ha dado lugar a que mucho de la superficie peninsular, aún en la actualidad, esté cubierta por vegetación. Esta cubierta vegetal no es homogénea pues refleja el tiempo y tipo de uso (o de no uso), la intensidad del impacto al que fue sometida y también, en gran medida, a sus características originales. Este mosaico de vegetación representa el proceso de sucesión vegetal.

El norte del estado de Yucatán representa una unidad de paisaje distinta al resto de la Península. Es la porción más seca, de origen geológico reciente y con suelos muy jóvenes, donde la vegetación de selva baja caducifolia fue sustituida en gran medida por cultivos de henequén, el cual también es característico de la región. En la actualidad, esta actividad se encuentra en declive y gran parte de las tierras cultivadas han sido abandonadas paulatinamente, principalmente las más

alejadas de los centros de población o bien se han transformado su uso a otra actividad. Diferentes alternativas se han propuesto para sustituir a los tradicionales cultivos de henequén: desde horticultura hasta sistemas agroforestales, pasando por cultivos de sávila, pastos de corte, ganadería extensiva, etc. La mayoría de ellos han sido decisiones tomadas al vapor y con resultados no muy favorables. Posiblemente la razón principal es la falta de una planeación que involucre el conocimiento de las características del espacio geográfico a ser utilizado.

Ante las perspectivas de desarrollo que enfrenta la región (megaproyectos como la Ruta Maya) se requiere de propuestas alternativas que minimicen el efecto negativo sobre los ecosistemas naturales. Un manejo adecuado de la vegetación secundaria puede reducir las presiones sobre las selvas más viejas entre otros beneficios (Brown & Lugo 1990). Para esto es necesario conocer las características de los distintos ecosistemas, los factores que los afectan, su distribución y extensión.

El identificar estas características en grandes extensiones de terreno resulta una tarea si no imposible, si muy costosa y demandante de tiempo por lo que se ha requerido de la aplicación de metodologías complementarias que reduzcan costos y ahorren tiempo. En particular, el uso de la percepción remota acoplado a los sistemas de información geográfica y a estudios de campo han demostrado ser un medio eficaz para evaluar los cambios del paisaje a escalas que van desde la local hasta la regional. Por esta razón el presente estudio pretende conocer la dinámica de la vegetación de la zona (selva baja caducifolia, selva baja caducifolia con cactáceas candelabrifformes y comunidades secundarias derivadas de ellas) en términos de su extensión pasada y presente, su composición actual y ajustar su comportamiento a un modelo que permita elaborar posibles escenarios de acuerdo al efecto de distintas variables.

ANTECEDENTES

El estudio de la sucesión secundaria como mecanismo fundamental de la recuperación de la cubierta vegetal ha sido abordado desde el siglo pasado y la bibliografía relacionada a él es muy extensa (cfr. Drury & Nisbet 1973, Horn 1974, Connell & Slatyer 1977, entre otros). Sin embargo, la mayoría de los estudios han sido desarrollados en ecosistemas de zonas templadas, y cuando ha sido abordado en regiones tropicales éste se ha enfocado en las selvas altas perennifolias ("tropical rain forest"). Sólo a últimas fechas los ecosistemas tropicales secos ("tropical dry forest" *sensu* Holdridge 1967) han sido objeto de atención no sólo de estudios de sucesión sino de ecología en el amplio sentido del término (Murphy & Lugo 1986).

En México los estudios de sucesión no sólo son incipientes en las selvas secas sino también en las selvas húmedas y a la fecha aún son pocos. Destaca el estudio pionero de Sarukhán (1964), en una selva alta perennifolia del Istmo de Tehuantepec y el modelo gráfico planteado por Gómez-Pompa & Vázquez-Yanes (1979) para las selvas altas de la región de Los Tuxtlas, Ver.. A nivel peninsular, los trabajos sobre sucesión han sido desarrollados en dos grandes rubros: sistemas milperos con diferente tiempo de abandono (Illsley & Hernández X. 1980, Levy-Tacher 1990, 1992, Levy-Tacher et al 1995 y Rico-Gray & García-Franco 1992), o regeneración en sitios perturbados natural o experimentalmente (Dickinson 1992, García-Cuevas et al 1992, Olmsted et al 1991, Snook 1993, Macario et al 1995). Aunque estos estudios nos dan la base para comenzar a entender los mecanismos subyacentes del proceso sucesional y la descripción del mismo, su objetivo no es el de ser aplicados a escalas regionales por lo que la dinámica sucesional en el espacio no es apreciable así como tampoco su relación con otros elementos del paisaje.

La percepción remota y los sistemas de información geográfica se han venido usando desde hace un par de décadas con la finalidad de estudiar la vegetación del planeta, principalmente para el mapeo de la misma. Las características que poseen los sensores remotos los hacen una herramienta muy útil en el estudio de la vegetación. La base fundamental de su funcionamiento es la detección del espectro electromagnético reflejado en un intervalo de longitud de onda, lo que les permite discernir objetos con base en sus propiedades inherentes. Así, el uso de la percepción remota ha probado su uso en estimaciones de productividad primaria, evapotranspiración y fotosíntesis (Running et al 1989),

área foliar (Running et al 1986), cobertura de dosel (Larson 1993), deforestación (Skole & Tucker 1993, Hlavaka & Strong 1992, Green & Sussman 1990, Jha & Unni 1994, entre otros), clasificación de la vegetación (Running et al 1994, Tucker et al 1985, García & Alvarez 1994, entre otros). Asimismo, su aplicación en el estudio de la sucesión se han ido multiplicando. Por ejemplo, en ecosistemas templados, Hall *et al.* (1991) identificaron los patrones espaciales y las tasas de transición entre diferentes estadios ecológicos del bosque mediante un análisis markoviano y el uso de imágenes de satélite. Asimismo, Kachi *et al.* (1986) se basaron en el análisis markoviano de la sucesión post-perturbación identificada a partir de imágenes multiespectrales. En ecosistemas tropicales, Lucas *et al.* (1993) lograron reconocer cinco estadios de regeneración secundaria en el Amazonas; mientras que Mausel *et al.* (1994) diferenciaron tres estadios sucesionales en la misma región amazónica.

La integración de la percepción remota como los sistemas de información geográfica (SIG) ha demostrado ser una herramienta útil en los estudios de cambio (Ludeke et al. 1990, Lee et al. 1993). Menos explorado ha sido el modelaje de los mismos en un SIG. Pastor & Johnson (1992) sugieren tres formas de acoplar los modelos de simulación con los SIG: 1) mediante el análisis estadístico multivariado, 2) los modelos markovianos y 3) extrapolando las propiedades predichas para un punto a todo el paisaje. Algunas aproximaciones, como ya se mencionó, se han realizado utilizando los modelos markovianos, sin embargo, existe la posibilidad de utilizar híbridos entre estas tres formas. Un gran desafío en el modelaje del cambio en los paisajes es la integración de los procesos sociales que actúan como factores de cambio. Entre los intentos por realizar tal integración están los trabajos de Ludeke *et al.* (1990), Lee *et al.* (1993) y Turner (1986).

OBJETIVO

El objetivo general del proyecto es el identificar y caracterizar los distintos estados sucesionales de la vegetación por medio de sensores remotos y elaborar una zonificación ecológica de la zona, así como un sistema de información geográfica.

METAS

- Carta de vegetación actual de la zona de estudio.
- Carta de la dinámica de la vegetación de la zona.
- Sistema de información geográfica.
- Caracterización de la vegetación.

ZONA DE ESTUDIO

Generalidades

El presente trabajo se desarrolló en la selva baja caducifolia y comunidades secundarias derivadas de ellas en el norte del estado de Yucatán, en un área comprendida dentro de la zona conocida como región henequenera. Se encuentra ubicada dentro de los límites de 17 municipios (figura 1). La superficie total de éstos es, aproximadamente, de 3249.67 km². La zona se encuentra sujeta, en gran parte de su superficie, al cultivo del henequén al menos desde mediados del siglo pasado. Este cultivo sustituyó a las antiguas haciendas maicero-ganaderas que habían dominado el paisaje de esta región desde la llegada de los españoles. El surgimiento de esta región y su posterior auge económico obedece a varias causas, sin ser la de la vocación agrícola del suelo la de mayor peso. Al parecer, motivo de la Guerra de Castas (~1857~1901) la población blanca (que había mantenido en sistema de semi-esclavitud a la población local) tuvo que concentrarse en el norte del estado -la capital y alrededores- e implantar un sistema de producción redituable de acuerdo a las necesidades de la época. Las necesidades del mercado mundial de fibra natural propiciaron un auge económico a los hacendatarios durante la segunda mitad del siglo pasado y las cuatro primeras décadas del presente siglo, para dar paso a un franco decline económico y productivo (Lerner *et al.* 1982). Asimismo el cambio de tenencia de la tierra debido a la Reforma Agraria, cristalizado en la zona henequenera en 1938 con la primera repartición de tierras a los campesinos y la creación de ejidos, dió un giro a la situación prevaleciente aunque sin efectos realmente positivos para los ejidatarios. El problema de la zona henequenera es bastante complejo y muchas son las páginas escritas a la fecha a este respecto. Sin embargo, para la finalidad de este documento baste tener presente que la zona ha estado bajo explotación del henequén en gran parte de su extensión y que en la actualidad se encuentra en un nivel bajo de producción que se refleja en el abandono de parcelas y el aumento de selvas secundarias de distintas edades y con distintas probabilidades de continuar hasta estadios más avanzados.

Otras actividades, como la ganadería y la agricultura (itinerante y permanente) también se desarrollan en la región, así como la extracción de material para construcción (minas abiertas, sahcaberas).

En la actualidad, la población en la zona de estudio se encuentra concentrada en tres municipios, Mérida, Motul y Progreso. El resto de los municipios presentan una población, en general de menos de 10000 habitantes, todas con incremento poblacional con excepción de algunos que muestran un decremento de la misma (Lerner *et al.* 1982, INEGI-Gob. del Estado 1993)

Aspectos físicos

Clima

En general existen pocas estaciones climatológicas para la zona de estudio. En particular, se cuenta con el registro más o menos confiable de las estaciones de Mérida, Progreso, Telchac Puerto, Sisal y Motul. Según Duch (1988), esta porción del estado es la más seca del mismo (y de la Península) con una precipitación total anual menor de 1000 mm (760.5 en promedio), siendo la temperatura media de 26.2° C (rango 25.5-27.2). La región es marcadamente estacional ya que la precipitación durante la época de lluvias contribuye con 75% de la pp total. Según los tipos climáticos de Köppen, modificado por García (1974) en la zona de estudio encontramos desde climas tipo BS₀ (el más seco de los semiáridos) hasta Aw₁ (el más seco de los subhúmedos). En la figura 2 se muestran los diagramas ombrotérmicos de las estaciones presentes en la zona.

Geología y suelos

Se encuentran rocas calizas del Pleistoceno así como materiales sedimentarios del Reciente. (años) En su conjunto forman una angosta franja territorial entre la Formación Carrillo-Puerto y la línea litoral, que se extiende de un extremo a otro del estado (Duch 1982). Los suelos en la región son sumamente jóvenes. Según INEGI (1984c) es posible encontrar las siguientes unidades de suelo: solonchac órtico y mólico , litosol y rendzinas. Duch (1988) menciona que los suelos solonchac se localizan en la franja de terrenos bajos y pantanosos de la ciénaga que se extiende a lo largo de la costa e inmediaciones; los litosoles cubren una gran parte del norte, centro y occidente de la entidad, mientras que las redzinas, se encuentran asociadas muy frecuentemente con los litosoles y en su conjunto son los suelos dominantes del estado. Asimismo, Duch (1988) reporta la presencia de regosoles que corresponden a los depósitos arenosos de la costa.

Vegetación

El único trabajo acerca de la vegetación desarrollado en esta zona es el de Thien *et al.* (1982), quienes mencionan que, dentro del sistema de clasificación de Holdridge, (1966) la vegetación corresponde a una transición entre bosques secos subtropicales ("dry subtropical forest") y bosques áridos tropicales ("arid tropical forest"). Sin embargo, la mayoría de la vegetación presente en el área que estudiaron (Dzibilchaltún), anotan los autores, se encuentra en distintas fases sucesionales. (Según la clasificación de Holdridge, toda la Península sería tropical forest porque incluye selva con precipitación de los 2000.

Existen otros estudios que hacen referencia a la vegetación de la zona. Por ejemplo, Miranda (1958) menciona la presencia de selva baja decídua. El mismo autor indica que la altura oscila entre los 8 y los 15 m, aunque en ocasiones apenas alcanza los 6 m, y como su nombre lo indica, una gran proporción (75%) de sus elementos pierde sus hojas durante la estación seca del año. Una variante de este tipo es la selva baja caducifolia con cactáceas candelabrifórmes. En cuanto a composición florística, muchos de los elementos presentes son compartidos con selvas medianas subdecíduas y subperennifolias del sur de la Península, aunque presentan tallas menores. Algunos elementos florísticos como *Beaucarnea pliabilis*, *Bumelia retusa*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinia vesicaria*, *Guaiacum sanctum* y *Thevetia ovata* (*Thevetia gaumeri*) son característicos a estas selvas bajas decíduas.

Por otro lado, COTECOCA (1977) reporta las siguientes variantes de selva baja: selva baja de *Acacia gaumeri* y *Mimosa bahamensis*; selva baja de *Acacia gaumeri* y *Acacia farnesiana*; selva baja de *Acacia gaumeri* y *Pithecellobium albicans* (*Havardia albicans*); selva baja espinosa de *Caesalpinia gaumeri* y *Acacia milleriana*; y selva baja de *Acacia gaumeri* y *Gymnopodium floribundum*.

Para INEGI (1984a,1984b) la zona de estudio presenta selva baja caducifolia y comunidades arbóreas y arbustivas secundarias derivadas de selva baja caducifolia.

Campos-Ríos & Durán (1991) y Olmsted *et al.* (1995) mencionan que esta selva es una comunidad baja muy densa donde los árboles alcanzan de 8 a 12 m de altura y cuyas copas forman un techo convexo o plano. La familia de las leguminosas es la mejor representada tanto por número de individuos como por

número de especies. Entre las especies arbóreas más comunes en esta selva reportan a: *Bursera simaruba* (chacah'), *Caesalpinia gaumeri* (kitam che'), *Acacia pennatula* (chimay), *Metopium brownei* (chechem), *Gymnopodium floribundum* (ts'iits'il che'), *Havardia albicans* (chukum), entre otros.

Es importante resaltar que estas selvas presentan una gran cantidad de endemismos (Durán *et al.* 1998).

Otros tipos de vegetación presentes en la zona de estudio pero que no serán consideradas en el análisis son los manglares, los halófitos herbáceos y el matorral de duna costera (INEGI 1984a, 1984 b, Espejel 1984, Trejo-Torres *et al.* 1993).

METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló en la selva baja caducifolia y comunidades secundarias derivadas de ellas en el norte del Estado de Yucatán, (Fig.1) puede ser dividido en tres grupos: muestreo de la vegetación, procesamiento de imágenes y desarrollo del modelo. Estas actividades se desarrollaron concomitantemente.

Muestreo de vegetación

Selección de los sitios de muestreo

La selección de sitios de muestreo se hizo de la siguiente forma. Mediante fotointerpretación e inspección visual de imágenes Landsat TM de distintas fechas se identificaron las distintas clases de cobertura presente en la zona. Dado que se contó con conjuntos multitemporales de imágenes y fotografías aéreas, fue posible identificar aquellas coberturas que habían o no presentado cambio desde la fecha más antigua que se disponía (1979) hasta la más reciente (1995). Esto permitió clasificar algunos estadios sucesionales, de entre 10 y casi 20 años de abandono, así como vegetación arbórea con 20 años sin uso o bien de selva baja más o menos conservada. Previo al muestreo de la vegetación se procesaron las imágenes con el fin de realizar una clasificación preliminar de las mismas y así identificar los sitios de muestreo en particular para cada una de las coberturas. De esta forma se muestrearon 5 sitios correspondientes a cada una de las clases definidas: 5 en estadios sucesionales avanzados o selva baja caducifolia, 5 en estadios sucesionales intermedios y 5 en estadios sucesionales recientes. La figura 3 indica los sitios de muestreo

Muestreo de la vegetación.

No existe un criterio unificado para establecer el área de muestreo de una comunidad vegetal, sin embargo, la lógica fundamental que debe regir es el de que el muestreo no debe subrepresentar ni sobrerrepresentar al objeto de estudio de tal forma que se gane en certidumbre y eficiencia. Son pocos los trabajos realizados en selvas bajas en la Península (Thien *et al.* 1982, Durán 1987), que esclarezcan la superficie adecuada para muestrear a la selva baja, sin embargo, al parecer, superficies entre 500 y 1000m² resultan adecuadas. Con base en lo anterior y sobre todo el tipo de vegetación a muestrear, en el presente estudio se utilizaron unidades de muestreo de 500m² utilizando 5 cuadros contiguos de 10 x 10 m. Para

el muestreo de la clase definida como estadio sucesional avanzado, en cada unidad se identificaron a todos los individuos superiores a los 3 cm. de diámetro a la altura del pecho (DAP), se estimó el DAP con una cinta diamétrica, y se calculó la altura total y a la primera rama. Asimismo, dentro de cada cuadro se hicieron dos subcuadros de 2 x 2 m para muestrear a todos los individuos menores de 3 cm. DAP pero mayores de 1 m de altura. El mismo procedimiento se siguió para el muestreo de la vegetación secundaria en estadio seral intermedio. Para el estadio sucesional temprano se utilizaron 20 cuadros de 2 x 2 en cada sitio muestreado, esto debido a que están conformados principalmente por arbustos bajos y herbáceas. En cada cuadro se identificaron las especies y se estimó el porcentaje de cobertura ocupada en el cuadro. Muchas especies fueron identificadas *in situ*, y la totalidad con personal del CICY; los ejemplares fueron herborizados y depositados en el herbario del CICY.

Todas las unidades de muestreo fueron geoposicionadas con un GPS Trimble Navigator.

La información obtenida se analizó por métodos estadísticos paramétricos, no paramétricos y multivariados (ordenación, clasificación) para explorar las consistencias de las agrupaciones (Krebs 1988, Brower y Zar, 1978, Macgurrán 1988, Jongman *et al.* 1987).

Para comparar la composición de los sitios muestreados se utilizó el índice de Morisita (Brower y Zar 1978 y Krebs 1988). Se basa en el índice de Simpson de dominancia ($\bar{\epsilon}$), el cual evalúa la probabilidad de que dos muestras seleccionadas al azar en una comunidad sean de la misma especie:

$$\bar{\epsilon} = \sum x_i(x_i - 1) / N_1(N_1 - 1)$$

donde x_i es el número de individuos de la especie i en la comunidad 1 y N_1 es el número (o biomasa, cobertura, etc.) total de los individuos de la comunidad 1. El índice de Morisita, también llamado de coincidencia (*overlap index*), es:

$$I_M = 2 \sum x_{ij} / (\bar{\epsilon}_1 + \bar{\epsilon}_2) N_1 N_2$$

y evalúa la probabilidad de que individuos tomados al azar en cada una de dos comunidades pertenezcan a la misma especie.

Percepción remota

Se usaron imágenes de satélite Landsat TM (7 bandas espectrales y resolución espacial de 30x30 m) de las siguientes fechas: 23-04-1995 y 27-04-1985. Las imágenes fueron procesadas con la ayuda de distintos softwares: Idrisi (Eastman, 1997) Multispec (Biehl y Landgrave, 1995) y Pixsat (Cortez 1992). De manera general, el procesamiento de las imágenes tuvo un enfoque híbrido, esto es, se utilizaron técnicas de clasificación no supervisada, supervisada y mejoramiento vía sistemas de información geográfica (Brondizio et al 1994). Las imágenes fueron interpretadas por separado, siendo la más reciente (1995) la primera en ser interpretada. En primer lugar se hizo una clasificación no supervisada para obtener las clases de información presentes. Posteriormente se desarrollaron campos de entrenamiento de diferentes clases: selva baja caducifolia, sucesión secundaria intermedia y temprana, agricultura, manglar, pastizales inundables, blanquizales, agua, centros urbanos. La clasificación que se generó con estos campos de entrenamiento se hizo mediante un clasificador de máxima verosimilitud. La imagen de 1985 se clasificó por medio de métodos no supervisados y el resultado posteriormente reclasificado manualmente. La imagen correspondiente a 1985 fue referenciada a la de 1995 y ambas a su vez georeferenciadas de acuerdo a las cartas topográficas 1:50,000 (INEGI, 1986) correspondientes a la zona de estudio. Ambas imágenes fueron sometidas a comparación para evaluar la coherencia de los cambios acontecidos y corregir los errores, mediante manipulación en el sistema de información geográfica. La interpretación y clasificación de las clases finales se hizo además con el apoyo de fotointerpretación de material de distintas fechas y escalas (*Tabla x Líneas de fotos utilizadas y escalas*)

Sistema de Información Geográfica

En este rubro, el objetivo fue capturar información pertinente que apoyase la zonificación de la región. Para tal fin, se procedió a digitalizar, esto es poner en formato digital, la información de las cartas geológicas y edafológicas (INEGI) disponibles a una escala 1:250,000; las vías de comunicación se obtuvieron de las cartas topográficas 1:50,000; la información florística se obtuvo de la base de datos del Herbario CICY; la información de los límites municipales se obtuvo de varias fuentes (INEGI, SAHOP), sin embargo la que finalmente se utilizó fue la de el Condensado Estatal (INEGI, 1990), tomando en cuenta que los límites son geo-políticos y por lo tanto no son definitivas las fronteras entre los municipios.

Otro tipo de información se obtuvo de otras fuentes, como lo fue la localización de los restos arqueológicos (De la Garza y Kurjak 1980), datos estadísticos de producción (Anuario Ejidal, INEGI), datos climáticos (Orellana en prensa.). Toda esta información fue digitalizada por diferentes vías (tableta digitalizadora, escaner, teclado) por medio del sistema de información geográfica Idrisi.

RESULTADOS

Vegetación

Composición y Riqueza de Especies

En total se registraron 246 especies pertenecientes a 46 familias (Apéndice). De este conjunto de especies casi todas son nativas y de amplia distribución, encontrándose 24 especies de endémicas (10%). No se encontraron especies exóticas que pudieran estar actuando como invasoras a excepción de *Rhynchelytrum* sp., un pasto. De acuerdo a las curvas de especies-área (figura 4), la superficie utilizada para cada estadio sucesional resultó la adecuada, sobre todo en el caso de SS1. En esta categoría la curva se estabiliza aproximadamente entre los 24 y 40 m². Para los estadios intermedios y tardíos el comportamiento no es tan uniforme pues mientras en algunos sitios alcanzan a estabilizar la curva en otros sigue un incremento ligero lo cual podría indicar la falta de más cuadros de muestreo.

La figura 5 indica el número de especies por familia, siendo la leguminosae la más numerosa.

En la figura 6 se aprecian los valores de riqueza de especies leñosas o arbóreas en cada sitio.

En general los sitios de sucesión secundaria avanzada son los que tienen una mayor riqueza seguidos por los sitios de sucesión intermedia y finalmente por los de sucesión secundaria temprana. El número de especies encontrado varía de 37 (Dzemul SS3) hasta 7 (Dzemul SS1). Sin embargo, en los sitios de sucesión temprana se encuentra el mayor número de especies si se consideran las herbáceas también (Cuadro 1).

Fisonomía (Estructura)

De las 246 especies encontradas, 83 son árboles, 20 arbustos, 47 trepadoras y 96 herbáceas.

Densidad

El número de individuos oscila entre los 129/500m² y los 194/500m² en Ixil y Chicxulub respectivamente en SS3 y de 86/500m² a 154/500m² en Dzemul y Dzibilchaltún respectivamente en SS2 (Figura 7). No se encontraron diferencias significativas entre el número de individuos promedio de los sitios SS3, de los SS2 ni entre estadios sucesionales tempranos.

El número de tallos varía de 289/500 m² a 360/500 m² en Ixil y Dzibilchaltún respectivamente en SS3, mientras que en SS2 el intervalo va de 225/500m² a 377/500m² (Figura 7) también en Ixil y Dzibilchaltún respectivamente. Tampoco se registraron diferencias significativas ni entre sitios de la misma categoría ni entre estadios sucesionales en el número promedio de tallos.

En cuanto a la estructura del estadio temprano (SS1), consiste básicamente en herbáceas pequeñas, árboles juveniles (plántulas) y arbustos que por lo general presenta una altura promedio de entre 0.6 y 1.20 m. La cobertura media fluctúa entre los 2.4 y 3.2 m²/4m² sin que existan diferencias significativas. El número de especies promedio presenta diferencias significativas siendo Ixil y Dzemul los sitios con mayor riqueza. El número total de especies en este estadio fue 195, de las cuales 40 son arbóreas, y el resto arbustos, trepadoras y herbáceas.

Area Basal y Altura

Por otro lado, el área basal se comporta casi de manera similar al número de especies, sólo que en este caso, un sitio, Dzibilchaltún SS2 (Figura 8) ocupa el tercer lugar en cuanto a área basal entremezclado con los sitios con vegetación más vieja. El área basal varía de 20 m²ha⁻¹ a 6 m²ha⁻¹ en Dzemul SS3 y Dzemul SS2 respectivamente. Al comparar las áreas basales promedio mediante un ANOVA no paramétrico (prueba de Kruskal-Wallis, H), entre los sitios SS3 no se encuentran diferencias significativas (H = 0.155, P = 0.997). Por otro lado, la comparación de los sitios de sucesión secundaria intermedia reporta diferencias significativas (H = 15.9, P = 0.0028), siendo estas principalmente entre Dzibilchaltún con el resto de los sitios. Entre estadios sucesionales tempranos, sólo se encontraron diferencias significativas entre los estadios sucesionales en Chicxulub y en Ixil (P = 0.0079 y P = 0.00159 respectivamente).

En las figuras 9 y 10 se presentan histogramas de la distribución de frecuencias de dos de las variables registradas: la distribución de las clases de altura y de área basal. En cuanto a la primera, se observa que, en general, los sitios que representan la vegetación más vieja son aquellos que soportan a los individuos más altos de estas comunidades, mientras que en los sitios más jóvenes la tendencia es a presentar individuos con tallas que fluctúan entre los 4.5-5m.

En la figura 10, se presentan las distribuciones de las clases de área basal. Al igual que en el caso anterior, las clases con una área basal mayor corresponden con los sitios más viejos, con excepción de Dzibilchaltún. En resumen y de manera general, los sitios más viejos presentan individuos de mayor talla y área basal.

Valores de Importancia

De acuerdo al índice de valor de importancia, en la categoría de sucesión tardía, algunas especies aparecen en todos los sitios con valores altos del índice en cuestión: *Acacia gaumeri*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinea yucatanensis*, *Randia obchordata* se comportan de esta manera (Cuadro 2). Por otro lado, además de las mencionadas, un conjunto de especies, 16, contribuyen con un 50% del valor de importancia. De estas algunas se encuentran en casi todos los sitios, *Gymnopodium floribundum*, *Pithecellobium dulce*, *Mimosa bahamensis*, *Lysiloma latisiliquum*, *Pithecellobium manguae* y *Thouinia paucidentata*.

En los sitios correspondientes a la sucesión intermedia (Cuadro 3), las especies que más contribuyen al valor de importancia son más reducidas con respecto a la sucesión tardía. Sólo 12 especies contribuyen con alrededor del 50% del valor de este índice en los diferentes sitios. De estas, *Acacia gaumeri*, *Bursera simaruba*, *Gymnopodium floribundum*, *Mimosa bahamensis*, aparecen en todos los sitios. También son frecuentes: *Pithecellobium dulce*, *Acacia pennatula*, *Piscidia piscipula*.

En los sitios de sucesión secundaria temprana (SS1) se consideró la cobertura de las leñosas y las herbáceas. Treinta especies contribuyen con alrededor de 50% del valor de importancia.

Similitudes

Al comparar entre sitios de la misma categoría se obtuvo que los sitios de sucesión secundaria tardía (SS3) e intermedia (SS2) son más parecidos entre sí que los de sucesión secundaria temprana (SS1) (Cuadro 5). En el primer caso, los sitios Ixil y Dzibilchaltún ($I_M = 0.72$) Chicxulub y Dzemul ($I_M = 0.7$) y Chicxulub y Sierra Papacal ($I_M = 0.64$) presentaron los valores de similitud más altos.

Los sitios de sucesión secundaria intermedia con más similitud entre sí son: Ixil y Dzibilchaltún ($I_M = 0.80$) y Dzibilchaltun y Chicxulub ($I_M = 0.57$) e Ixil y Chicxulub ($I_M = 0.53$).

En el caso de los sitios de sucesión secundaria temprana, de acuerdo al índice de Morisita, en general presentan baja similitud (menos del 30%), con excepción de los sitios Chicxulub y Sierra Papacal ($I_M = 1.35$).

La comparación entre estadios sucesionales reporta también diferencias. En el caso de SS2 y SS3 donde se pudo aplicar el índice de Morisita. En el cuadro 6 se presentan los valores. (Chicxulub SS3 y SS2, $I_M = 0.5$, Sierra Papacal SS3 y SS2, $I_M = 0.46$).

Cinco familias contribuyen con el 50% de las especies (Leguminosae, Gramineae, Euphorbiaceae, Compositae y Malvaceae), mientras que un 30 % de las familias está representada por menos de 5 especies.

Clasificación de la vegetación y cambios en la cobertura del suelo por percepción remota.

Vegetación actual

Las clases definidas para el presente análisis son las siguientes:

SS1: sucesión secundaria temprana. Compuesta principalmente por comunidades herbáceas y arbustivas con más de 5 años de desarrollo y hasta de 10 años de desarrollo.

SS2: sucesión secundaria intermedia. Compuesta por comunidades arbóreas con más de 10 años de desarrollo hasta 20 años de desarrollo así como selva perturbada.

SS3 o selva baja: sucesión secundaria tardía. Compuesta por comunidades arbóreas con más de 20 años de desarrollo o sin perturbación drástica.

Agropecuario: Compuesta por superficies agrícolas y ganaderas, con comunidades de herbáceas (cultivos de henequén principalmente y pastos inducidos).

Urbano: esta clase abarca ciudades y poblados, caminos, minas abiertas (sahcaberas), galpones (criaderos de aves), suelo expuesto.

La subescena Landsat TM (3493 columnas por 1537 renglones) abarca una superficie total de 338,700 ha aproximadamente de las cuales 286,200 ha pertenecen a superficie no inundable y que sustenta a la selva baja caducifolia, comunidades secundarias derivadas de ella y áreas de uso agropecuario y urbano. El resto de la superficie está ocupada por manglares, herbáceas hidrófitas, cuerpos de agua y suelo desnudo (blanquizales). En este estudio nos hemos abocado a la parte no inundable.

En la figura 11 se aprecia el mapa de vegetación realizado para la región de estudio basado en la imagen de satélite Landsat TM de abril de 1995 y de 1985. Las superficies para cada clase se presentan en el cuadro 7.

Cambios en la vegetación

Tendencias generales

La clasificación de las imágenes de los distintos años resultó en una serie de clases espectrales que fueron reasignadas a las clases de información utilizadas en este trabajo: sucesión secundaria temprana, sucesión secundaria intermedia, sucesión tardía o selva baja caducifolia, agropecuario (que comprende agricultura y pastizales inducidos). Las superficies que ocupan cada una de estas clases en las distintas fechas se muestran en el cuadro 8 (superficies 85-95) y los cambios registrados en la figura 12 (cambios 85-95). En ambas se observa que, con excepción de las clases de cobertura sucesión intermedia (SS2) y urbano, que

aumentaron en superficie, las demás clases de cobertura disminuyeron en su superficie, aunque estos cambios no fueron drásticos. Las tasas de cambio anual para las clases estudiadas fue de 933.4 ha/año para SS1, 826.9 ha/año para la clase agropecuario y 1114.5 ha/año para la clase selva baja caducifolia o sucesión tardía, en el caso de las clases que tuvieron decremento; por otro lado, las clases que aumentaron lo hicieron a una tasa de 2517 ha/año y 553.5 ha/año para SS2 y urbano. Cabe hacer notar que las superficies finales no son las mismas en las distintas fechas pues existe un grado de error de clasificación sobre todo en los límites de las clases de cobertura. En particular, las confusiones se derivaron en que superficies clasificadas como selva baja en 1995, lo fueron como pastizal inundable en 1985 por lo que la superficie total en esta fecha fue menor.

El uso de imágenes con fechas en distintos años nos permitió seguir el destino de las clases definidas en 1985 y analizar a que clase de cobertura habían pasado en 1995. Los cambios sucedidos dan una idea de las tendencias que están ocurriendo en la zona estudiada. La mayoría de los cambios son explicables y coherentes, sin embargo, algunos cambios no lo son y obedecen a errores en la asignación de clases en las distintas fechas a una superficie dada. Sin embargo estos errores no son muy grandes y representan un reducido número de píxeles.

Los resultados de estos análisis se muestran en la Fig. 13 y cuadro 8a y 8b (cambios-destino). En la figura 13 (a) se presentan los cambios de las clases SS1 y agropecuario. Gran parte de la clase SS1 en 1985 ha pasado a ser clase SS2 en 1995 (33,000 ha), otra cantidad ha pasado a clase agropecuario (9000 ha), otra más ha permanecido como SS1 (5000 ha), una pequeña proporción ha pasado a la clase urbano (2500 ha) y otra más pequeña pasó a selva baja (950 ha), transición que no es posible. Esto es un error de clasificación y lo más probable es que los cambios atribuidos a selva baja lo sean a SS2. De todas formas hemos preferido dejarlos como cambios confusos o erróneos y no sumarlos a las transiciones a SS2 y representan el 2 % de la superficie de la clase SS1 en 1985.

Las transiciones de SS2 de 1985 a 1995 se muestran en la Fig. 13(b). Como se aprecia, gran parte de la superficie que abarca esta clase ha permanecido como tal, sin sufrir modificaciones (37300 ha); otra parte ha pasado a selva baja caducifolia (18000 ha) y una superficie similar ha pasado a las tres clases restantes, SS1, agropecuario y urbano, siendo la clase agropecuaria la más alta de las tres (4600, 8900 y 1500 ha respectivamente).

En la gráfica 13(c) se muestran los cambios de la selva baja o sucesión tardía. Mucha de la superficie ocupada por esta clase ha permanecido como tal (55100 ha) mientras que unas 2500 ha han pasado a SS1, 5800 ha a uso agropecuario, 1100 ha a urbano y 20200 ha a SS2.

Finalmente, la clase urbano, (Fib. 13d) que en lo general mostró un incremento de una fecha a otra, también presentó cambios, la mayoría de ellos muy posiblemente debido a errores en la clasificación. Esta clase fue la que más grado de confusión presentó, alrededor de un 30%.

Tendencias regionales

Para inspeccionar los cambios acontecidos entre las fechas estudiadas, se optó por comparar los cambios sufridos a nivel municipal por cada una de las coberturas. Para tal fin se digitalizaron los límites municipales presentados en el condensado estatal (INEGI 1990). Esta carta presenta los límites municipales a una escala 1:700,000. Estos límites no son oficiales y son conocidos como geo-estadísticos y no necesariamente coinciden con los límites políticos administrativos, por lo que las superficies reportadas en el presente estudio respecto a superficies municipales no concuerdan en todos los casos por los presentados por las fuentes oficiales (INEGI 1993). En el cuadro 9 se muestran las superficies estimadas en este trabajo y las superficies oficiales (Anuario Estadístico). En cuatro municipios las diferencias son muy grandes: Hunucmá, Progreso, Telchac Pueblo y Chicxulub. En los dos primeros casos, las superficies estimadas fueron mucho más grandes que las reportadas por las fuentes oficiales, mientras que las dos últimas resultaron mucho más pequeñas. En los casos restantes, tenemos que cinco municipios casi concuerdan con las fuentes: Tixpehual, Conkal, Ixil, Telchac Pueblo y Baca; los municipios restantes muestran diferencias entre los 10 y 20 km². Estos datos se presentan con la finalidad de establecer que las fuentes a este nivel no son confiables o precisas y resulta harto difícil conocer los límites reales de los municipios. De todas maneras y a pesar de dichas diferencias se utilizaron los datos estimados para conocer las tendencias por región, dada esta en este caso, por los municipios. También es importante hacer notar que con excepción del municipio de Mérida todos los demás límites municipales quedaron comprendidos dentro de la zona estudiada. En el caso de Mérida, cerca del 50% de la superficie no fue abarcada por la subescena de la imagen Landsat estudiada.

Municipios

Aclarado lo anterior, en la figura 14 se presentan las superficies por clase de cobertura ocupadas en los distintos municipios comprendidos en la zona de estudio en las distintas fechas.

Agropecuario

Como se aprecia en dicha figura, no es posible adjudicar una tendencia común en los diferentes municipios. Con respecto a la clase Agropecuario, algunos municipios han disminuido su superficie, mientras que otros la han aumentado. El primer grupo abarca más municipios (cuadro 10) y las tasas de cambio varían de 205 a 3 ha/año de decremento de esta clase en Mérida y Yaxkukul respectivamente. Es necesario tomar estas tasas de cambio dentro del contexto de las propias superficies municipales, de tal forma que, si bien Mérida presenta las más altas tasas de cambio, con respecto a su superficie (la considerada en este estudio), representa sólo un 4%, mientras que en Cacalchén, por ejemplo con tasas de cambio menores, la superficie perdida representa un 16 % de su superficie total. Por otro lado, 6 municipios mostraron una tendencia al aumento de la superficie en esta clase de cobertura: Baca, Ixil, Telchac Puerto, Progreso, Mococho y Hunucmá (cuadro 11). Las tasas de cambio van de 50 a 18 ha/año y en ningún caso las superficies transformadas representan más del 5 % de la superficie municipal. La superficie en esta clase se vio disminuida de manera global en 8,000 ha.

Selva baja caducifolia (SS3)

La superficie que abarca la selva baja en los distintos municipios varía de uno a otro. Algunos municipios poseen extensiones muy pequeñas de esta clase de cobertura, mientras que, Progreso, Mérida, Ixil, Ucú y Hunucmá presentan las superficies más grandes y en su conjunto el 75% de la superficie que abarca esta clase (figura 15). Al igual que en la clase anterior, algunos municipios muestran una tendencia a la disminución de esta clase de cobertura, mientras que en otros sucede lo contrario, resultados que pueden considerarse como deforestación y regeneración. En el primer caso se encuentran la mayoría de los municipios, con tasas de cambio que van de las 415 ha/año hasta 34 ha/año en Hunucmá y Conkal respectivamente. En casos como Muxupip y Yaxkukul estos cambios representan más del 20% de su superficie (cuadro 12).

En el caso contrario, (cuadro 13) Dzemul, Motul, Sinanché, Telchac Pueblo, Tixkokob, Chicxulub y Tixpehual, han incrementado su superficie de selva a tasas de cambio que van de las 250 a 45 ha/año en Dzemul, la más alta, y en Tixpehual, la más baja, respectivamente. Las superficies transformadas representan hasta entre un 10-16% de la superficie municipal en los casos de Dzemul, Sinanché y Telchac Pueblo. La diferencia entre los incrementos y decrementos de la superficie resulta a favor de la transformación de esta clase con unas 10,700 ha de pérdida.

Sucesión secundaria intermedia (SS2)

La superficie con SS2 se vio incrementada en 16 municipios con tasas de cambio que van 539 a 8 ha/ año en Motul y Telchac Puerto respectivamente (cuadro 4). En varios municipios la superficie transformada representa más del 20% de su superficie siendo el caso extremo el de Muxupip en el cual la transformación representó (cuadro 15) alrededor del 50%. Por otro lado, sólo tres municipios mostraron decremento de la superficie en SS2 a tasas de cambio que van de las 70 a las 240 ha/año, representando alrededor del 10% de su propias superficies. El balance final en esta clase indica un incremento neto de la superficie con esta clase con unas 24,700 ha.

Sucesión secundaria temprana (SS1)

La clase SS1 mostró las siguientes tendencias. Ocho municipios mostraron aumentos de superficie en esta clase, con tasas de cambio de 182 ha/año hasta 3 ha/año en Ucú y Mérida respectivamente. La superficie transformada no representa más del 10 % de la superficie de los municipios (cuadro 16). El resto de los municipios mostraron una disminución de la superficie de esta clase: la más alta tasa de cambio la presentó Motul con 531 ha/año, mientras que Yaxkukul presentó sólo 5 ha/año. En el caso de Motul, tal transformación llegó a representar hasta un 16% (cuadro 17) de su superficie. La diferencia entre el incremento y el decremento resulta a favor de éste último con un saldo de unas 10,700 ha.

Urbano

Finalmente, la clase urbano, mostró un incremento en 12 municipios siendo Mérida, (cuadro 18) Progreso y Hunucmá los que presentaron más altas tasas de cambio. En el caso de Mérida este cambio representó alrededor de 7% de la

superficie considerada, mientras que en los demás casos, la superficie transformada representa menos del 1% de la superficie municipal. Por otro lado, 7 municipios mostraron un decremento, siendo el caso más alto Motul con una tasa de 45 ha/año. Sin embargo, las superficies transformadas no representan más del 2% (cuadro 19) de la superficie municipal. Una gran parte del error se debió a que muchos pixeles (unidades de las imágenes de satélite) perteneciente a la clase urbano, sobre todo en Mérida, no fueron clasificados, subestimando esta clase en la fecha de 1985. En el caso que se presentaron decrementos, estos en la mayoría fueron de decenas de hectáreas con excepción de Motul e Ixil que fueron del orden de centenas. Mucho del error se debió a la confusión en clasificación de muchos pixeles dentro de las poblaciones que corresponden a vegetación arbórea y que quedaron clasificados de acuerdo a su espectranza en SS2 o SS3 sin ser reclasificados a la clase urbano por estar dentro de centros de población. El saldo final resultó en un incremento de esta clase en unas 5100 ha (cuadro 16).

Las diferencias existentes entre los datos globales reportados en esta sección con respecto al cuadro de cambios globales de una fecha a otra, obedece a que en ese cálculo se incluyó toda la superficie de la imagen analizada, mientras que en los cálculos relativos a esta sección, se excluyeron las porciones de superficie ocupadas por Tetiz, Umán y Kanasín (cuadro 17).

Tipos de suelo en la región

Según la carta de suelos de INEGI (1984) en la zona de estudio los principales suelos son los litosoles y las rendzinas generalmente en asociaciones donde unas veces domina uno u otro y que en su conjunto ocupan alrededor del 77% de la superficie estudiada (cuadro 20, figura 16). Además de los suelos mencionados, también se encuentran suelos del tipo gleysol, histosol, regosol, solonchak y cambisol, que ocupan el 23 % restante. En la Figura 17 se muestra el mapa de suelos de la región digitizado de INEGI (1984)

Aspectos geológicos

La región de estudio se encuentra básicamente sobre materiales geológicos del Cuaternario y del Terciario Superior (Eoceno), siendo ésta última la que más superficie ocupa (84% de la superficie estudiada). Con respecto a los depósitos del Cuaternario, los más abundantes son los correspondientes a ambientes lacustres

son los más extensos (40,000ha), mientras que los depósitos del Cuaternario propiamente dichos ocupan un 3% (10,000 ha). Ver cuadro 21 y figura 18 donde se muestra el mapa geológico de la zona.

Conocimiento florístico

De acuerdo a la base de datos del Herbario-CICY, en la región estudiada se han colectado 1066 especies de plantas que pertenecen a 118 familias botánicas y a 544 géneros (cuadros 22). Del total de especies presentes en la región 59 son endémicas. (cuadro 23). El municipio mejor colectado, con más número de especies registradas, es Mérida con 796 especies, asimismo, es el municipio con más número de especies endémicas colectadas, más géneros y más familias. Por otro lado, los municipios de Chicxulub, Muxupip y Ucú sólo poseen una colecta. La distribución espacial de las colectas se muestra en la figura 19.

Elevación del terreno

La información referente a la elevación del terreno se obtuvo del Modelo Digital de Elevación del Terreno proporcionado por la Environmental Protection Agency (EPA), a través del proyecto "Caracterización del Paisaje de América del Norte" (Lunetta 1993). De acuerdo a esta información, gran parte de la zona de estudio, un 40% aproximadamente, se encuentra entre los 5 y 9 msnm, mientras que un 10% se encuentra entre los 0-1 msnm. Las máximas elevaciones que se encontraron (19-21 msnm) son pequeñas superficies (menos del 0.001%) (cuadro 24 y figura 20).

Restos arqueológicos en la región

La zona estudiada es rica en su pasado histórico. Prueba de ello son los restos arqueológicos que dan testimonio de las culturas ancestrales que habitaron la región. Asimismo, los restos arqueológicos forman parte del patrimonio cultural de la nación, por lo que son susceptibles a ser protegidos. De acuerdo a la información digitizada del Atlas Arqueológico de Yucatán (de la Garza y Kurjak 1986), en la región estudiada se encuentran registrados 215 sitios arqueológicos. De acuerdo a su distribución por municipios, es el municipio de Mérida el que más detenta restos arqueológicos, seguido de Motul y Yobain. Sólo un municipio,

Telchac Puerto, no presenta restos arqueológicos registrados (cuadro 25 y figura 21).

Sobreposición de capas de información

Dado que el objetivo final de este trabajo gira en torno a la selva baja y comunidades secundarias derivadas de ella se procedió a buscar relaciones entre estas clases de cobertura y los demás atributos espaciales considerados, por medio de la sobreposición de capas de información en el Sistema de Información Geográfica.

Relación entre clases de cobertura y suelos

En la figura 22 se muestran los resultados de cruzar la información de ambas capas. Como es posible apreciar, las clases de cobertura estudiadas se presentan preponderantemente en suelos asociación litosol/rendzina y rendzina/litosol. Los demás tipos de suelo se presentan en las partes bajas donde se desarrollan los hidrófitos herbáceos y los manglares, así como zonas desprovistas de vegetación como los blanquizales y cuerpos de agua temporales. Por otro lado, en la pequeña superficie reportada de litosol como suelo único (15,000 ha aproximadamente), está cubierta principalmente por selva baja o SS3. Es muy probable que esta zona corresponda a una variedad de selva baja, la selva baja con cactáceas candelabroiformes característica de zonas "lajosos".

Relación entre clases de cobertura y geología superficial

La mayor parte de la superficie se encuentra sobre materiales del Terciario (Eoceno) (95%), un 3% en materiales del Cuaternario, ocupados principalmente por selva baja y uso agropecuario (figura 23)

Relación entre clases de cobertura y elevación

Si bien la región es una planicie calcárea, existen diferencias en la elevación del terreno de unos cuantos metros que dan origen a depresiones y promontorios que influyen directamente en el tipo de suelo y vegetación. El 75% de la superficie analizada se encuentra a elevaciones entre los 5 y los 12 msnm. Un 10 % de la superficie se encuentra entre los 0 y los 5 msnm; el resto de la superficie, entre los 12 y 18 msnm. En la figura 24 se muestran las clases de cobertura en función de

las clases de elevación del terreno. No existe una tendencia evidente entre ambas variables. En el cuadro 24 se presentan los datos pertinentes.

Relación entre clases de cobertura flora

De los 451 registros de colectas de 59 especies endémicas, 121 colectas se encuentran en la zona de estudio. El mayor número de colectas (42) se encuentran en la clase Urbano (camino, asentamientos, etc), seguido de SS2 (27) y selva baja con 23. En agropecuario y en SS1 se encontraron 15 colectas. La distribución de colectas florísticas se muestra en la figura 25.

Relación entre clases de cobertura y restos arqueológicos

Para la zona de estudio se encontró que son 210 los restos arqueológicos, distribuidos principalmente en SS2 (69), agropecuario (51), selva baja (37), SS1 (30) y 23 en urbano; cabe hacer notar que si añadimos otras clases de cobertura (pastizales inundables y blanquiazal, se incrementa los restos en 5, repartidos 2 en los pastizales y 3 en los blanquiazales. Para este análisis se consideraron todos los restos sin considerar su rango de importancia (o conocimiento) reportado en la fuente de donde se obtuvo la información (De la Garza y Kurjak, 1984) ya que casi todos son de rango IV, siendo sólo 7 los rango III, 2 los rango II y uno de rango I (Ichkansihó, hoy Mérida) (figura 26).

DISCUSION

Vegetación

Como mencionamos antes, es difícil comparar nuestros resultados con otro estudio, porque hay pocos estudios de la selva baja caducifolia en Yucatán y los que hay usaron metodologías diferentes. Mizrahi et al. (1997) trabajaron en Kancabchen en el municipio de Motul en vegetación secundaria después de henequén en dos diferentes edades: 12 y 26 años. Las edades de nuestros sitios no coinciden con estos. Además, el trabajo de Mizrahi et al (1997) usa un dap de >1 cm. por individuo y 1000 m^2 de cuadro, mientras nuestro estudio indica especies con un dap $> 3\text{cm}$ en cuadrantes de 400 m^2 para sucesión temprana y 500 m^2 para sucesión intermedia y tardía.

El trabajo de la vegetación de Dzibilchaltun de Thien et al. (1982) ilustra el estado sucesional de la vegetación. Desafortunadamente no podemos comparar todos los datos que este grupo registró, porque no dieron una idea del número total de cuadros que trabajaron en cada sitio. De todos modos hicieron muchos más cuadros que nosotros. Registramos más o menos el mismo número de especies leñosas total y también la misma composición con unos cambios de nomenclatura. También es interesante notar que las especies más importantes en 1980 aun lo son en nuestro trabajo, *Bursera simaruba*, *Gymnopodium floribundum* y *Caesalpinia gaumeri*.

Como se puede ver en la figura 6, hay diferencias esperadas entre las diferentes sucesiones con relación a número de especies. Sorprende un poco que todos los sitios con sucesión intermedia tengan un número de tallos o individuos menor que los sitios con sucesión tardía. Quizás se puede explicar esta situación con el hecho que el número de individuos con dap de 1 cm. o menos incrementaría mucho el número total de tallos o individuos en la sucesión intermedia. No se encontraron diferencias significativas en número de individuos ni número de tallos entre sitios de la misma categoría ni entre estadios sucesionales (Figura 7).

El área basal se comporta diferente de la densidad. Hay diferencias entre la sucesión intermedia y tardía en el mismo sitio, teniendo la sucesión tardía el mayor área basal. Hay diferencias significativas en la sucesión intermedia entre sitios, en particular con Dzibilchaltun.

El área basal 18-20 m²/ha de la categoría sucesión tardía de los diferentes sitios es similar a otras selvas bajas de esta edad (Mizrahi et al. 1997). Considerando que selvas medianas subperennifolias maduras en el norte de Quintana Roo tienen un rango de 24 - 28 m²/ha (Harmon et al. 1995), los valores registrados en la categoría sucesión tardía parecen indicar una madurez de la selva baja caducifolia.

Es instructivo saber que en la categoría sucesión tardía *Bursera simaruba* (Cuadro 2) es la única especie que aparece con un valor alto en todos los sitios. Otras especies como *Gymnopodium floribundum*, *Acacia gaumeri*, *Randia obcordata*, *Pithecellobium dulce* ocurren en casi todos los sitios entre las 10 especies más importantes. Otra observación importante es el hecho que en casi todos los sitios mínimo una especie de Cactaceae aparece entre los 10 especies más importantes. Hay un conjunto de 52 especies de las cuales ninguna aparece en más que un sitio.

En la sucesión intermedia (SS2), hay varias especies que aparecen como los más importantes en todos los sitios: *Acacia gaumeri*, *Bursera simaruba*, *Gymnopodium floribundum* y *Mimosa bahamensis* (Cuadro3) También hay un grupo de 28 especies, de las cuales unos solamente aparecen en un solo sitio.

En la sucesión temprana (SS1), donde medimos la cobertura de especies arbóreas y herbáceas en lugar de los otros parámetros de las especies arbóreas en las otras categorías, muchas especies se encuentran en cuatro de los 5 sitios. Solamente *Portulaca pilosa*, una herbácea, aparece en todos los sitios (Cuadro 4). Hay 136 especies, de las cuales ninguna aparece en más que un sitio.

El peso de los valores de importancia se ve reflejado en la comparación de similitudes. La mayor similitud existe entre los sitios de la sucesión avanzada (SS3), seguido por la similitud en la sucesión intermedia. Como ya se vio en los valores de importancia, en la sucesión temprana hay muy poca similitud entre sitios. Si uno considera que hay 248 especies en total (apéndice) en todos los sitios en todas las categorías y de ellas 136 especies solamente se encuentran en un sitio, se puede entender la baja similitud.

Considerando las distancias geográficas entre los sitios muestreados, suponiendo a Chicxulub como el punto central, se puede imaginar un radio de 40 km. y tocar todos los sitios. Considerando también que el clima es más o menos

igual en toda la zona , al igual que los suelos, se espera, con otros variables iguales, que la vegetación debe ser la misma. Que los estados de sucesión avanzados tienden a ser mas similares entre si que otros estadios sugiere que la vegetación madura es selva baja caducifolia.

La sucesión intermedia y temprana son una respuesta a la perturbación recibida, el banco de semillas existente en el lugar, las especies existentes con capacidad de rebrote de tocón o raíz, y la cubierta vegetal que tenía inmediatamente antes de la perturbación. Todos estos factores hacen que los sitios tienen una influencia sobre los estadios y son más diferentes en su composición y estructura entre si que la sucesión avanzada.

Clasificación de la vegetación y tendencias

Los cambios en las clases de cobertura presentados reflejan varios aspectos importantes. En primer lugar dan cuenta de una gran dinámica en el uso del suelo. Gran parte de lo que fue clasificado como agropecuario en 1985 pasó a SS1 en 1995 (casi el 50 % de la clase), mientras que el 39 % permaneció en esa clase. Por otro lado, una parte de la clase SS1 pasó a la clase agropecuario (17%) y casi un 10% permaneció en SS1, mientras que el grueso de la clase, un 60%, pasó a SS2; este es el principal aporte a la clase SS2 y se debe al mantenimiento de las condiciones de abandono de henequenales hace más de 20 años. Por otro lado, el clareo o perturbación de la selva baja o SS3 también contribuyó. Cabe hacer notar que este porcentaje de cambio (de SS3 a SS2) no significa un retroceso propiamente en el proceso sucesional, sino que los cambios de perturbación de la selva fueron considerados dentro de esta clase y sumados a los cálculos. La otra clase que tuvo un aumento global fue la clase urbano, cambio que es de esperarse ya que está asociado al crecimiento de la población, vías de acceso, superficies antropogénicas, etc. Dado que esta clase comprende a las clases de cobertura mencionados, algunos cambios negativos pueden atribuirse al abandono de superficies descubiertas de vegetación y sometidas al proceso sucesional (camino que se cierran, sahcaberas abandonadas, etc.), otra proporción obedece a errores en la clasificación, detectados principalmente en los límites de los asentamientos urbanos con las áreas rurales.

En términos de la selva baja (SS3), esta clase mostró que la transformación de su superficie se debió más a la perturbación de la misma (clareo, ganadería extensiva) que a su transformación a actividades agropecuarias. Mientras que unas

18000 ha se recuperaron, es decir pasó más tiempo de sucesión, otras 20,000 fueron perturbadas y consideradas como SS2 en 1995, más unas ocho mil más que fueron transformadas a SS1 o agropecuario. En este mismo rubro relacionado a la recuperación de la cubierta arbórea, la SS2 podría considerarse como un potencial. Más de 30000 ha de superficies cultivadas siguieron su descanso (o abandono) permitiendo el crecimiento de la vegetación. Por otro lado, unas 15000 ha de esta clase fueron transformadas principalmente para actividades agropecuarias.

En la figura 27 se muestran los cambios sufridos por la selva baja o SS3 entre las dos fechas estudiadas.

Tendencias regionales

Con base en el análisis de los resultados obtenidos en función de los límites municipales, se pueden identificar algunas tendencias en el uso del suelo con posibles implicaciones en la conservación o regeneración de la selva baja. Si consideramos en primer lugar a aquellos municipios que presentaron un incremento de la clase selva, pueden observarse dos tendencias. La primera consiste en el incremento de la selva a partir de la disminución de SS2, mientras que SS1 aumenta también y agropecuario disminuye. Esto podría resultar en una dinámica en el cambio entre las clases. Esto se observa en Dzemul, Sinanché, Conkal. La otra tendencia, consiste en un aumento de SS3 y SS2, pero una disminución de SS1 y agropecuario. En este caso, podría sugerirse un decremento neto de la actividad agropecuaria. Esto se observa en Motul, Tixcocob y Tixpehual.

Por otro lado, al analizar los cambios sucedidos en SS2, se pueden evaluar las potencialidades de esta clase en la regeneración de la selva. En función de los resultados obtenidos y considerando a aquellos municipios que incrementaron su superficie en esta clase, puede observarse un gradiente entre dos extremos representados por el caso neto de regeneración hasta el caso neto de perturbación de la selva baja. En el primer caso, Motul, Telchac Pueblo, Tixpehual, Tixkokob, Cacalchen, Mérida, Chicxulub y Muxupip, han incrementado la superficie en SS2 principalmente a partir de SS1, lo cual indicaría el mantenimiento de abandono de los planteles henequenales. El otro conjunto de municipios que incrementaron en SS2, Hunucmá, Progreso, Baca, Mococho, Ixil, Ucú, Yaxkukul y Telchac Puerto, lo hicieron en menor o mayor medida debido a la perturbación de la selva baja, el caso extremo, serían Ucú y Telchac Pto. en las cuales el incremento se debió casi

en 100% a la perturbación de la selva. Asimismo, este segundo conjunto de municipios representan a aquellos municipios o zonas donde se está perdiendo superficie de selva y las causas principales a las que se debieron sus cambios. Todos los municipios que perdieron cobertura de selva se debió principalmente a su perturbación más que a su sustitución por las clases agropecuario o SS1.

Debe resultar claro que el análisis presentado representa una aproximación a una regionalización basada en los límites municipales sin que esto realmente quiera decir que esas son las tendencias reales de estas unidades político-administrativas. Las tendencias en el uso del suelo obedecen principalmente a las voluntades de los propietarios, a los recursos disponibles y a las políticas de desarrollo; más aún, los límites de tenencia de la tierra no necesariamente coinciden con los límites municipales. A parte de ello y desafortunadamente, en nuestro país no existe aún una figura de municipio fuerte que pueda ser regidor de su destino (con excepción de los grandes municipios) por una serie de razones que van más allá de este estudio. Sin embargo, una de esas razones, la falta de información de los recursos con los que se cuenta y su distribución, puede ser subsanada a través de colaboraciones como la presente y mejoradas en la medida que se integren otros elementos del conocimiento.

ZONIFICACIÓN

El estudio aquí presentado se ha enfocado principalmente a la selva baja y a los estadios sucesionales derivados de ella en función de las posibilidades de conservación a través de un manejo adecuado de la misma. Como objetivo fundamental se han identificado las superficies donde aún encontramos esta clase de cobertura y las superficies susceptibles a regenerarse a través del proceso sucesional. De esta forma se ha conformado un mapa con la distribución actual de la selva y clase SS2 de acuerdo al tipo del suelo y edad geológica en la que se distribuye. En función de estas variables, se pudo subdividir a ambas clases (selva y SS2), en selva baja con cactáceas candelabriformes y selva baja como tal; el uso de estas variables no indica que sean las más importantes y determinantes de la selva baja, otras variables pueden ser consideradas para afinar la zonificación propuesta. El resultado final es un mapa con cuatro clases de cobertura, que podrían ser consideradas como unidades de paisaje: selva baja con cactáceas candelabriformes (SBCC), selva baja caducifolia, sucesión secundaria derivada de SBCC y sucesión secundaria derivada de selva baja caducifolia. Cada una de

estas clases se subdividió en función del tipo de suelo y material geológico lo que resultó en 13 sub-clases finales: SBCC sobre suelos de litosol-rendzina y litosol en material del Cuaternario y SBCC sobre litosol en material del Terciario. La selva baja se desarrolla sólo sobre materiales del Terciario y se subdividió en selva baja sobre suelos litosol-rendzina, rendzina-litosol y rendzina cambisol. La clase de sucesión secundaria se subdividió en aquella que se desarrolla en SBCC y hay tres tipos: sobre suelos litosol y material del Cuaternario, sobre litosoles en material del Terciario y sobre litosoles-solonchak del Terciario. La sucesión que se desarrolla en selva baja se subdividió en SS2 sobre litosol-rendzina, rendzina-litosol, sobre castañozem háplico y sobre rendzina-litosol-cambisol (figura 28).

Esta zonificación nos da una idea de la distribución espacial de la selva y algunos de sus atributos que pueden ser considerados en los estudios de ordenamiento. De gran importancia, en términos de la conservación de la selva, resultan aquellas superficies de selva en sus dos tipos que no ha sido perturbada fuertemente pues representa los últimos restos de este tipo de vegetación en el estado. También resultan importantes las superficies de SS2 pues representan el potencial de regeneración de la selva.

Resulta obvio que cualquier intento de conservación debe de ir acompañado de alternativas de uso del recurso que se quiera proteger. En este sentido, la conservación/regeneración de la selva baja del norte de Yucatán, puede integrarse a políticas de conservación del patrimonio cultural. En el caso particular y como se mencionó en la sección de resultados, la zona cuenta con un gran número de restos arqueológicos que representan un patrimonio cultural invaluable y que muchos de ellos se encuentran en sitios de SS2 o de SS3 ampliando las posibilidades de áreas protegidas que combinen la protección de ambos recursos. Asimismo, estas áreas protegidas podría funcionar como corredores ecológicos que garantizaran no sólo la protección de la flora y vegetación sino también de la fauna.

El presente estudio pretende ser una herramienta tanto metodológica como de información susceptible a ser usada por usuarios de diversa índole. Los Sistemas de Información Geográfica nos brindan posibilidades de sistematización, manejo, actualización y uso eficiente de la información permitiendo la elaboración de modelos geográficos. Asimismo y muy importante es la posibilidad de compatibilidad de formatos en forma digital que permitirá el que se integren

fuentes de información de otros sectores afines y relacionados al ordenamiento ambiental.

CONCLUSIONES

- 1 Este es el primer trabajo realizado con fines de uso para una elaboración de ordenamiento ecológico de un estado o región de la Península de Yucatán.
- 2 Es el primer trabajo de descripción y mapeo de la vegetación actual y cambio de uso para un área tan extensa como es la zona henequenera (Fig. 1).
- 3 La información proporcionada está dada para cada uno de los 17 municipios de la zona henequenera.
 - flora
 - vegetación
 - suelos
 - geología
 - elevación
 - edad geológica
 - arqueología
- 4 Los cambios de uso de suelo de 1985 -1995 indican la dinámica de la vegetación, el uso agropecuario y el proceso urbano en la zona.

VEGETACION

- 5 Se analizó la vegetación de selva baja caducifolia en tres estadios (edades) -sucesión temprana, sucesión intermedia y sucesión tardía (selva madura) en cinco sitios: Dzibilchaltún, Ixil, Chicxulub, Dzmul y S. Papacal.
- 6 En el análisis de vegetación se encontraron 246 especies, de las cuales 83 fueron árboles, 20 arbustos, 47 trepadoras y 96 herbáceas.
- 7 El número de especies arbóreas incrementa desde la sucesión temprana hasta la sucesión tardía, de 7 a 37 (Cuadro 1 y Figura 6).

- 8 La densidad de individuos y tallos de las especies leñosas no fue significativamente diferente entre las diferentes edades de la vegetación, ni entre los sitios (Figura 7).
- 9 El área basal se comportó como el número de especies, se incrementó de la sucesión intermedia hasta la sucesión tardía (Figuras 8 y 10).
- 10 La altura mostró el mismo comportamiento que el área basal: las edades más viejas tienen individuos con más altura.
- 11 La especie leñosa que aparece con un valor de importancia alto en todos los sitios dentro de la categoría sucesión tardía es *Bursera simaruba*. Otras especies más importantes en esta categoría son *Acacia gaumeri*, *Caesalpinea yucatanensis* y *Randia obcordata*. En la categoría de sucesión intermedia los siguientes especies aparecen en todos los sitios: *Acacia gaumeri*, *Bursera simaruba*, *Gymnopodium floribundum* y *Mimosa bahamensis*.
- 12 En una comparación de sitios en la misma categoría, se encontró que los sitios de sucesión intermedia y tardía son más parecidos entre sí que los de sucesión temprana.

CLASIFICACION DE LA VEGETACION Y USO DEL SUELO

- 13 Con excepción de las clases Urbano y Sucesión secundaria intermedia, que mostraron un incremento en superficie de una fecha a otra, las demás clases sufrieron un pérdida neta de superficie (Sucesión Secundaria temprana, Agropecuario y Sucesión secundaria tardía o selva baja).
- 14 El análisis a nivel municipal de las tendencias en el uso del suelo puede servir para entender las tendencias regionales y como fuente de información para el desarrollo de planes o políticas que tengan que ver en el uso del suelo.
- 15 La selva baja está siendo transformada principalmente por perturbación más que actividades de desmonte para uso

agropecuario. La perturbación que se observa se debe en su mayor parte a ganadería extensiva.

- 16 Las actividades agropecuarias han disminuido globalmente, muy probablemente debido a la caída del cultivo del henequén y la pérdida de grandes superficies antiguamente dedicadas a esta actividad. Esto ha dado paso a actividades de índole ganadera principalmente.
- 17 Aparentemente existe un equilibrio entre las superficies en descanso y en uso agropecuario. Sin embargo, es necesario de un análisis más extendido en el tiempo para verificar tendencias.
- 18 El incremento de superficie en regeneración incrementa las posibilidades de recuperación de la selva baja y en consecuencia de la fauna regional. Esto puede conjuntarse con otros esfuerzos, como lo es la protección de la riqueza cultural para ofrecer alternativas de uso a los habitantes de la región.
- 19 La zonificación presentada está basada en unidades paisajísticas y puede ser la base para una futura zonificación tendiente al ordenamiento ecológico de la región.

Literatura citada:

- Baker, W. L. 1989. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology* 2 (2): 111-133.
- Brondizio, E. S., E. F. Morán, P. Mausel & Y. Wu. 1994. Land use change in the Amazon Estuary: Patterns of Caboclo Settlement and Landscape Management. *Human Ecology* 22 (3):249-278.
- Brown, S. & A. Lugo. 1990. Tropical secondary forest. *J. of Trop. Ecol.* 6:1-32.
- Cortés, A. 1992. Pixsat. Sistema de Procesamiento de Imágenes Digitales. Manual del Usuario. Instituto de Geografía-Geosfera. México.
- Campos-Ríos, G. & R. Durán. 1991. La vegetación de la Península de Yucatán. In: P. Colunga, R. Orellana, N. Ayora, J. Arellano & G. Campos (eds.). *El jardín botánico como herramienta didáctica: apuntes del curso-taller para maestros*. CICY-CULTUR-SECOL. Mérida, Yucatán, México.
- COTECOCA. 1974. *Coeficientes de Agostadero para la Península de Yucatán*. Comisión Técnico Consultiva para la determinación regional de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). SAHR, México.
- Connell, J.H. & R. O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111: 1119-1144.
- Duch, J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo, 467 pp.
- Dickinson, M. 1992. *Regeneration of trees in a Seasonal tropical forest: differences among burns, logging gaps, natural gaps and closed forest*. Proposal for Ph Doctoral. Florida State University, 56pp.
- Drury, W. H. & I.C.T. Nisbet. 1973. Succession. *J. Arn. Arb.* 54 (3):331-368.
- Eastman, J. R. 1997. Idrisi for Windows. Version 2.0. Clark University, Worcester, MA., USA
- EPA. 1993. *North American Landscape Characterization (NALC): Research Plan*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Environmental Monitoring System Laboratory. USA, 419 pp.
- Espejel, I. 1984. La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. I. Análisis florístico del estado de Yucatán. *Biótica* 9(2):183-201.

- Finn, J. T. 1985. Analysis of land use change statistics through the use of markovian chains. *Proceedings of the 1985 summer computer simulation conference*. Chicago Illinois, pags :514-519.
- García, E. 1974. Modificaciones al sistema climático de Köppen . Instituto de Geografía, UNAM. México, 261 pp.
- García-Cuevas, X., B. Rodríguez-Santiago y J. Chavelas-Polito. 1993. *Regeneración natural en sitios afectados por el huracán Gilberto e incendios forestales en Quintana Roo*. Documento INIFAP. Centro de Estudios Forestales San Felipe Bacalar, Quintana Roo.
- García, M. C. & R. Alvarez. 1994. TM digital procesing pf a tropical forest region in southeastern Mexico. *Int. J. Remote Sensing* 15(8):1611-1632.
- Garza, Silvia y Edward Kurjack. Atlas Arqueológico de la Península de Yucatán. Dos Tomos. Centro Regional del Sureste INAH. México. 1980
- Gómez-Pompa, A. & A. Vázquez-Yanes. 1985. Estudios sobre la regeneración de selvas en regiones cálido húmedas de México. In: A. Gómez-Pompa & S. del Amo (eds.). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. Alhambra. México, pags.: 1-25.
- Green, G. M. & R. Sussman. 1990. Deforestation history of the Eastern Forest of Madagascar from Satellite Images. *Science* 248:212-215.
- Green, G. M. s.f. *Preliminary report on field methodology for remote sensing*. ACT (manuscrito).
- Hall, F., D. B. Botkin, D. E. Strelbel, K. D. Woods & S. J. Goetz. 1991. Large scale patterns of forest succession as determined by remote sensing. *Ecology* 72 (2):628-640.
- Hlavka, C. A. & L. L. Strong. 1992. Assessing deforestation and habitat fragmentation in Uganda using satellite observations and fractal analysis. *J. of Image Science and Technology* 36 (5):440-445.
- Harmon, E.M. 1995. Decomposition and Mass of Woody Detritus in the Dry Tropical Forests of the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *BIOTROPICA* 27(3):305-316.
- Holdridge, L.R. 1966. The life zone system, *Adansonia* 6(2): 199-203.
- Horn, H. S. 1974. The ecology of secondary succession. *Ann. Rev. Ecol. & Syst.* 5:25-37.
- Horn, H. S. 1975. Markovian properties of forest succession. In: M.L. Cody & J. M. Diamond (eds.). *Ecology and evolution of communities*. Harvard University Press, Cambridge, pags: 196-211.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Edafológica Tizimin F16-7, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Edafológica Mérida F16-10, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Edafológica Calkiní F15-9-12, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Geológica Tizimin F16-7, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Geológica Mérida F16-10, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Geológica Calkiní F15-9-12, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Uso del Suelo y Vegetación, Mérida F16-10, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Uso del Suelo y Vegetación, Tizimin F16-7, escala 1:250,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Carta Topográfica Telchac Puerto F16C33, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1985. Carta Topográfica Motul F16C43, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Carta Topográfica Izamal F16C53, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Carta Topográfica Puerto Progreso F16C32, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Carta Topográfica Mérida F16C52, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Carta Topográfica Hunucmá F16C41, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1990. Carta Condensado Estatal, Yucatán, escala 1:600,000. 1a. Ed., México, D.F.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1992. Carta Topográfica Conkal F16C42, escala 1:50,000. 1a. Ed., México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1993. Anuario Estadístico del Estado de Yucatán, Gobierno del Estado de Yucatán. 1a. Ed., México, D.F.
- Illsley & Hernández X. 1980. La vegetación en relación a la producción en el Ejido de Yaxcabá, Yucatán. In: E. Hernández X., y R. Padilla (eds.) *Seminario sobre Producción agrícola en Yucatán*. SPP-Gobierno del Estado de Yucatán-SARH-CP, Mérida, Yucatán, México. Pags: 343-392.
- Jongman, R. H., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren. 1987. *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc Wageningen. Netherlands, 299 pp.
- Jha, C.S. & V. M. Unni. 1994. Digital change detection of forest conversion of a dry tropical Indian forest region. *Int. J. Remote Sensing* 15 (13):2543-2552.
- Kachi, N., Y. Yasuoka, T. Totsuka & K. Suzuki. 1986. A stochastic model for describing revegetation following forest cutting: an application of remote sensing. *Ecological Modelling* 32:105-117.
- Landgrave, D. y L. Biehl. 1995. *An introduction to Multispec*. School of Electrical Engineering, Purdue University, West Laffayette, Indiana, USA, 81 pp.
- Larson, H. 1993. Linear regression of canopy cover estimation in *Acacia* woodlands using Landsat-TM, -MSS and SPOT HRV XS data. *Int. J. Remote Sensing* 14 (11):2129-2136.
- Lee, R.G., R. Flamm, M. Turner, C. Bledose, P. Chandler, C. DeFerrari, R. Gottfried, R. J. Naiman, N. Schumaker & D. Wear. 1993. Integrating sustainable development and environmental vitality: A landscape ecology approach. In: R. Naiman (ed). *Watershed management: balancing sustainability and environmental change*. Springer-Verlag. Pags.: 499-521.
- Lerner, S., F. Saavedra, A. Quesnel & L. Geller. 1982. *Estudio sociodemográfico de la zona henequenera*. Estado de Yucatán. Banrural. México.
- Levy-Tacher, S. 1990. *Sucesión secundaria en Yucatán. Antecedentes para su manejo*. Tesis Maestría. Centro de Botánica, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Levy-Tacher, S. 1992. Sucesión secundaria en Yucatán y su manejo. In: Zizumbo V., D., L. Arias, S. Terán & C. Rasmussen (eds.) *La modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad*. CICY-DANIDA-CP, Mérida, Yucatán.
- Levy-Tacher, S., E. Hernández-X., E. García-Moya & A. Castillo-Morales. 1995. Estudio de la Sucesión secundaria bajo roza tumba-quema en Yucatán. In: E. Hernández-X, E. Bello & S.

- Levy-Tacher (eds.). *La Milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- Liu, D.S., L. R. Iverson & S. Brown. 1993. Rates and patterns of deforestation in the Philippines: application of geographic information analysis. *Forest Ecology and Management* 57:1-16.
- Lucas, R.M., M. Honzak, G. M. Foody, P. J. Curran & C. Corves. 1993. Characterizing tropical secondary forest using multi-temporal Landsat sensor imagery. *Int. J. Remote Sensing* 14 (16):3061-3967.
- Ludeke, A.K., R.C. Maggio & L.M. Reid. 1990. An analysis of Anthropogenic deforestation using logistic regressions and GIS. *J. of Environmental Management* 31:247-259.
- Mausel, P., Y. Wou, Y. Li, E. Moran & E. Brondizio. 1993. Spectral identification of successional stages following deforestation in the Amazon. *Geocarto International* 8 (4): 61-72.
- Macario, M. P. A., E. García-Moya & E. Hernández-X. 1995. Regeneración natural de especies arbóreas en una selva mediana subperennifolia perturbada por extracción forestal. *Acta Botánica Mexicana* 32:11-23.
- Miranda, F. 1958. La vegetación. In: E. Beltrán (ed.) *Los Recursos Naturales del Sureste y su aprovechamiento*. IMERNAR, México, pags.:161-271.
- Mizrahi, A., J.M. Ramos-Prado, J. Jiménez-Osornio. 1997. Composition, structure, and management potential of secondary dry tropical vegetation in two abandoned henequen plantations of Yucatan, Mexico. ELSEVIER.
- Murphy, P. G. & A. Lugo. 1986. The ecology of dry tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. & Syst.* 17:67-88.
- Olmsted, I., J. Palma Gutiérrez, L. Péres del Valle, J. Castillo-Espadas y Y. Moreno-Valdovinos. 1991. *Estudio del cambio de la estructura y composición de las selvas afectadas por los incendios, en estrecha relación con el banco de semillas*. Reporte SEDUE, México D.F.
- Olmsted, I., R. Durán, J. A. González-Iturbe, J. Granados-Castellanos, J. C. Trejo-Torres, D. Zizumbo, G. Campos-Ríos & G. Ibarra-Manrique. 1995. Diagnóstico del conocimiento y manejo de las selvas de la Península de Yucatán. In: H. Delfin, V. Parra & C. Echazarreta (eds.) *Conocimiento y manejo de las selvas de la Península de Yucatán*. UADY. Mérida, México, pags.:139-178.
- Pastor, J. & C. A. Johnston. 1992. Using simulation models and Geographic Information Systems to integrate Ecosystem and Landscape Ecology. In R. Naiman Ed. *Watershed management: balancing sustainability and change*. Springer-Verlag. pags.:324-346.

- Rico-Gray, V. & J. García-Franco. 1992. Vegetation and soil seed bank of successional stages in Tropical lowland deciduous forest. *Journ. of Veg. Sci.* 3: 617-624.
- Running, S. W., R. R. Nemani, D. L. Peterson, L. E. Band, D. F. Potts, L.L. Pierce & M. A. Spanner. 1989. Mapping regional forest evapotranspiration and photosynthesis by coupling satellite data with ecosystem simulation. *Ecology* 70 (4):1090-1101.
- Running, S. W., D. L. Peterson, M. A. Spanner & K. B. Teuber. 1986. Remote sensing of coniferous forest leaf area. *Ecology* 67 (1): 273-276.
- Running, S. W., T. R. Loveland & L.L. Pierce. 1994. A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global biogeochemical models. *Ambio* 23 (1):77-81.
- Sarukhán, J. 1964. Estudio sucesional de una área talada en Tuxtepec, Oaxaca. *Publ. Esp. Inst. Nac. Invest. For.*, México 3:107-172.
- Skole, D. & C. Tucker. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978-1988. *Science* 260:1905-1910.
- Snook, L. 1993. *Stand dynamics of Mahogany (Swietenia macrophylla King) and associated species after fire and hurricane in the Tropical Forest of the Yucatan Peninsula, México*. Ph.D. Thesis. Yale School of Forestry and Environmental Studies.
- Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *Int. J. Remote Sensing* 10 (6):989-1003.
- Thien, L., A. S. Bradburn & A. L. Welden. 1982. The woody vegetation of Dzibilchaltun. A Maya archaeological site in Northwest Yucatan, Mexico. *Middle American Research Institute Occasional Paper* 5, 24 pp. Tulane University. New Orleans. USA.
- Trejo-Torres, J.C., R. Durán & I. Olmsted. 1993. Los manglares de la Península de Yucatán. In: S. Salazar-Vallejo & N. E. González (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad-CIQRO, México.
- Tucker, C. J., J. R. G. Towshend, J. E. Goff. 1985. African land cover classification using satellite data. *Science* 227:369-375.
- Turner, M.G. 1988. A spatial simulation model of land use changes in a Piedmont County in Georgia. *Applied Mathematics and Computation* 27:38-51.
- Usher, M.B. 1979. Markovian approaches to ecological succession. *Journal of Animal Ecology* 48:413-426.
- Usher, M. B. 1981. Modelling ecological succession, with particular reference to Markovian models. *Vegetatio* 46 (11):11-18.

Wessman, C. A. 1992. Spatial scales and global change. *Ann. Rev. Ecol. & Syst.* 23: 175-200.

Wilkie, D. S. & J. T. Finn. 1988. A spatial model of land use and forest regeneration in the Ituri Forest of Northeastern Zaire. *Ecological Modelling* 41: 307-323.

Yardeth, V. L.F., & I. Olmsted. 1995. *Regeneración de una selva baja caducifolia en Yucatán, México.* (Manuscrito).