



UADY

CAMPUS DE
CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
"Luz, Ciencia y Verdad"

FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA
SECRETARÍA ACADÉMICA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN
CAMPUS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

DESCRIPCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA
ABUNDANCIA DE *Brosimum alicastrum* POR MEDIO DE
INFORMACIÓN AMBIENTAL, DE SENSORES REMOTOS E
INTERPOLACIÓN ESPACIAL

TESIS PROFESIONAL DE LICENCIATURA
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

POR:

Br. Blanca Castellanos Basto

Asesores:

Dr. José Luis Hernández Stefanoni

Dr. Alfonso Larqué Saavedra

Mérida Yucatán, México 2012.

DECLARACIÓN.

Este trabajo no ha sido aceptado para el otorgamiento de título o grado alguno. La tesis es resultado de las investigaciones del autor excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento al CCBA-UADY para la reproducción del documento con el fin de intercambio bibliotecario.



CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA DE YUCATAN, AC

Declaro que la información contenida en la sección de materiales y métodos experimentales, los resultados y discusión de este documento, proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el periodo que se me asigno, para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que dicha información le pertenece en términos de la Ley de la Propiedad Industrial, por lo que no me reservo ningún derecho sobre ello.

Mérida, Yucatán, a 30 de Mayo de 2012.

Elvira Castellanos
Elvira Castellanos Busta

Nombre y firma del estudiante

AGRADECIMIENTOS.

A mi asesor el Dr. José Luis Hernández Stefanoni que me dio la oportunidad de realizar la tesis dentro de las instalaciones del CICY. Por su asesoramiento, instrucción, y apoyo; sobre todo por su inmensa paciencia y tolerancia que me brindó. Por darme la oportunidad de realizar mi servicio social y faltar al laboratorio para presentarme en las salidas de campo de mí servicio. Por brindarme el equipo necesario para la realización de este documento. Por preocuparse y ocuparse en el rumbo de este trabajo. Y por todas sus valiosas aportaciones y mejoras realizadas para este trabajo, al igual que el conocimiento impartido durante todo este tiempo, sus enseñanzas para el manejo del SPSS, ENVI y GeoStatistic.

A mi co-asesor el Dr. Alfonso Larqué Saavedra por permitirme entrar a las instalaciones del CICY, por su gran apoyo y paciencia para la elaboración del trabajo, y por su patrocinio de la beca otorgada.

A mi tutor el M. en C. Facundo Dagoberto Morales Avelino por su comprensión y apoyo durante tanto tiempo, por ser un gran amigo y consejero durante la carrera. Por sus pláticas que me siguen sirviendo de motivación. Por sus grandes aportaciones para la elaboración de este trabajo, que sin duda me sirvieron de mucho.

A Silvia Vergara por preocuparse y ocuparse en el trámite de la beca de CONACYT. Por su asesoramiento para mi inscripción en el CADE.

El apoyo de CONACYT por el estímulo económico que se me otorgó el Dr. Larqué como ayudante de investigador Nacional Nivel III en el período junio 2011-junio 2012.

A Jorge Omar López Martínez por facilitarme el Registro Nacional Forestal, por su ayuda en la actualización del registro, enseñarme a manejar los programas ArcView,

DivaGis y por trabajar hasta tarde conmigo en el laboratorio de sistemas de información del departamento de Recursos Naturales en las instalaciones del CICY.

A Rodrigo Hernández Juárez por su ayuda, comprensión y apoyo, así como el haberme enseñado a manejar el programa Idrisi32.

A Fernando Tun Dzul por su ayuda en la obtención de los NDVI y enseñarme a manejar el programa Idrisi32 y ENVI. Por sus chistes diarios que nos sacaban una sonrisa a todos en el laboratorio de sistemas de información.

Al Dr. Jorge Leirana Alcocer por su asesoría y valiosas aportaciones.

A la Dra. Celia Isela Sélem Salas por permitirme realizar mi servicio social y cumplir al mismo tiempo con mi tesis en las instalaciones del CICY.

Al Dr. Juan Tun Garrido por brindarme la oportunidad de acumular horas extras de mi servicio social dentro del laboratorio de los recursos florístico de Mesoamérica (CCBA-UADY) para que pudiera terminar a tiempo y cumplir con mi horario dentro del CICY para la elaboración de este trabajo.

RESUMEN.

Brosimum alicastrum representa un elemento característico y ecológicamente importante en la composición florística de la península de Yucatán. La especie es ampliamente conocida por su alto valor nutricional y como sombra en la ganadería. Sin embargo para su aprovechamiento se requiere conocer el estado actual en el que esta se encuentra. En este estudio se obtuvieron sitios georeferenciados con la presencia de la especie, imágenes satelitales MODIS y diferentes variables ambientales con el objetivo de caracterizar la distribución espacial de *B. alicastrum*. Para ello se asoció la abundancia y el área basal de *B. alicastrum* con información de temperatura, precipitación, altura, y el NDVI obtenido de las imágenes Modis usando 3180 conglomerados obtenidos del Inventario Nacional Forestal (INF) y métodos de regresión lineal. Los resultados muestran una asociación poco significativa de la distribución de *B. alicastrum* y las variables explicativas con valores de **R² 0.012** y **0.024** para la abundancia y área basal. Es decir, la abundancia y área basal de la especie no tuvo una relación lineal tan significativa como se esperaba. Sin embargo la dependencia espacial mejoró los valores de la **R²** para ambos casos (abundancia y área basal) con valores de 0.23 y 0.194.

PALABRAS CLAVES: Abundancia, área basal, *Brosimum alicastrum*, imágenes de satélite MODIS, clima, distribución espacial.

ABREVIATURAS: MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; INF, Inventario Nacional Forestal; NDVI, Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Objetivos general y específicos	3
2. MARCO TEÓRICO.	
2.1. Antecedentes.	
a. Manejo de los SIG en el ámbito socioeconómico.	4
b. Manejo de los SIG en el ámbito biológico.	6
c. Manejo de los SIG y la regresión con Kriging.	7
2.2. Descripción del área de estudio.	10
a. Clima de la Península de Yucatán.	12
b. Temperatura de la Península de Yucatán.	14
c. Precipitación de la Península de Yucatán.	15
d. Índice de humedad de la Península de Yucatán.	17
e. Vegetación de la Península de Yucatán.	17
f. Descripción de <i>Brosimum alicastrum</i> .	20
3. METODOLOGÍA.	
a. Inventario de la vegetación.	27
b. Información ambiental.	30
c. Percepción remota, imágenes satelitales.	31
d. Análisis estadístico.	34
4. RESULTADOS.	36
5. DISCUSIÓN.	46
6. CONCLUSIÓN.	50

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS.

- A. Abreviaturas y siglas usadas.

I. Lista de cuadros.	Página
Cuadro 1. Matriz de requerimientos para <i>Brosimum alicastrum</i> Swart.	24
Cuadro 2. Calendario fenológico.	25
Cuadro 3. Variables BIOCLIM.	30
Cuadro 4. Resolución espectral.	32
Cuadro 5. Tabla de Anova.	40
Cuadro 6. Modelo de las variables incluidas para la abundancia.	41
Cuadro 7. Modelo de las variables incluidas para área basal.	41
Cuadro 8. Parámetros semi-variograma.	41
II. Lista de figuras.	
Figura 1.a. Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán.	10
Figura 1.b. Geología de la Península de Yucatán.	10
Figura 2. Mapa de altitud de la Península de Yucatán.	11
Figura 3. Tipos de clima de la Península de Yucatán.	12
Figura 4. Mapa de temperatura anual para la Península.	14
Figura 5. Mapa de precipitación para la Península.	15
Figura 6.a.. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán.	18
Figura 6.b. Leyenda del mapa de vegetación de la Península.	18
Figura 7 Imágenes de <i>Brosimum alicastrum</i> Swartz.	23
Figura 8. Forma de la unidad de muestreo (conglomerado).	29
Figura 9. Ubicación de los 3180 conglomerados dentro de la Península.	36
Figura 10. Mapas de precipitación de la Península por temporadas.	37
Figura 11. Mapa de temperatura máxima y media para la Península.	38
Figura 12. Mapa de temperatura mínima para la Península.	38
Figura 13. Mapas del NDVI de la Península para nortes y lluvias.	39
Figura 14. Mapa correspondiente a los valores NDVI de la Península para secas.	39
Figura 15.. Distribución de la abundancia de <i>B. alicastrum</i> .	44
Figura 16. Distribución de la abundancia por área basal de <i>B. alicastrum</i> .	45
III. Lista de tablas.	
Tabla 1. Regresión lineal.	42
Tabla 2. Validación cruzada.	43
Tabla 3. Correlación espacial.	43

I. INTRODUCCIÓN.

La distribución de *Brosimum alicastrum* representa un elemento ecológicamente importante en la composición florística de las selvas, logrando albergar una gran diversidad de fauna silvestre y mantener la cadena trófica establecida (Jiménez *et al.*, 1999; González *et al.*, 2008; Morales-Ortíz y Herrera-Tuz, 2009). En 2009 la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) la definió como especie prioritaria para sus Programas de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales por la importancia que representa sus hojas y fruto como alimento para animales y aves silvestres (Morales-Ortíz y Herrera-Tuz, 2009).

Para el aprovechamiento sustentable de los sistemas es importante contar con información precisa de su biodiversidad, conocer su historia, dinámica de su desarrollo y aprovechamiento del espacio. Su reconocimiento es necesario para explicar la dependencia de procesos que determinan la diversidad local con fenómenos geográficos e históricos de mayor amplitud que permiten entender la función de sus elementos e interacciones; al tener un sistema conformado por especies con diferente fenología, se cuenta con producción de flores y frutos durante todo el año, permitiendo disponer de recursos alimentarios para beneficio humano, polinizadores y dispersores del componente florístico y mantener la dinámica del sistema (Arce y García, 1997; Jiménez *et al.*, 1999; Velázquez *et al.*, 2001; González-Espinosa *et al.*, 2005). Los ecosistemas de la Península han estado en interacción con la sociedad desde hace varios miles de años; actualmente el conocimiento y estudio de las poblaciones de organismos a nivel mundial ha permitido visualizar que la biodiversidad mundial está disminuyendo. La escala actual de deforestación en las regiones tropicales, representan la necesidad de intervenciones para restauración de la biodiversidad y funcionamiento ecológico (Myers *et al.*, 2000; Pérez y Huerta, 2002; Colunga-García *et al.*, 2003; Lamb *et al.*, 2005).

Las imágenes de satélite procesadas constituyen una importante herramienta de trabajo en la investigación a un bajo costo. Muchos fenómenos pueden ser monitoreados indirectamente por esta información; se puedan observar los recursos naturales así como analizar el resultado de dichas observaciones implementando sistemas de información geográfica para la generación de datos actualizados e inventarios forestales, apoyadas por los levantamientos y verificaciones en campo. El método utilizado de interpolación espacial pretende cumplir con los criterios de obtención de información espacial de la especie de manera concisa, eficaz, objetiva y sencilla (OEA, 1993; Velázquez *et al.*, 2001; Rosete y Bocco, 2003; Hernández-Stefanoni *et al.*, 2009; Moizo, 2004; Alcaraz-Segura *et al.*, 2008).

Es difícil aceptar que México sea deficitario en la producción de granos para la alimentación, siendo un país reconocido mundialmente por ser uno de los centros de origen de la agricultura y sitio en donde se realizó la llamada “revolución verde”. El presente trabajo forma parte de una compleja propuesta en la cuál la cosecha de semillas del Ramón sirva para complementar la demanda de granos. De manera que con este trabajo se pretende dar a conocer una visión general de la distribución de esta especie como parte complementaria a dicha propuesta. La distribución espacial de la abundancia de *Brosimum alicastrum* en la península de Yucatán derivada de imágenes satelitales MODIS y variables ambientales (precipitación, temperatura, altura y bioclim) bajadas del portal CONABIO y WorldClim nos permitirá analizar que condiciones influyen en la abundancia de la especie dentro de la península, ya que todo escenario posible en un espacio territorial es una herramienta necesaria e indispensable para la previsión. Estas imágenes desarrollarán una aproximación y diagnóstico ecológico para integrar y analizar la heterogeneidad espacial de esta especie arbórea de multipropósito (forraje, medicina, sombra), organizando espacialmente el territorio que a futuro ayude a la realización de un plan integral de manejo del recurso natural disponible para la comunidad (Velazquez *et al.*, 2001; Sanchez *et al.*, 2004; Hernández-Stefanoni *et al.*, 2009; Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

1.1. OBJETIVOS.

Objetivo general.

- Analizar la distribución espacial de la abundancia y área basal de *Brosimum alicastrum* en la península de Yucatán usando variables ambientales, de percepción remota e interpolación espacial.

Objetivos específicos.

- Interpretar la información de las imágenes de satélite MODIS correspondientes al clima y NDVI de la Península a través de puntos georeferenciados.
- Determinar la relación del ambiente con la abundancia y área basal de *Brosimum alicastrum* de la Península.
- Determinar el efecto de la dependencia espacial sobre las estimaciones de la abundancia y área basal con los valores obtenidos de las variables ambientales mediante el método de regresión con kriging.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES.

a. Manejo de los Sistemas de Información Geográfica en el ámbito socioeconómico.

La percepción remota y los sistemas de Información Geográfica (SIG) han constituido una verdadera revolución tecnológica y metodológica para efectuar la adquisición, manejo y análisis de la información geográfica. La utilización de los SIG en el ámbito forestal se remonta a la segunda mitad de la década de los ochenta; la implementación de la tecnología comenzó con el software ArcInfo mediante el cual fué posible generar información digital a partir de la digitalización vía tableta de la cartografía base nacional (analógicas 1:50.000) para variables como curvas de nivel, cursos de agua y red caminera principal. Una de las principales experiencias realizadas fué el proyecto “ Teledetección para Manejo Forestal Dinámico (Temford)” en donde CONAF (1983) desarrolló una metodología de clasificación tanto para el bosque nativo en la V y VI regiones como para plantaciones de *Pinus radiata D.*, basándose en un análisis multitemporal, utilizando imágenes Landsat MSS y TM (Mena *et al.*, 2006).

Mediante manejo y análisis de datos geográficos, así como el modelamiento de fenómenos físicos y socioeconómicos en el área urbana, contribuyen a la planeación (Welch, 1982). En 1993, Bocco *et al.*, a través de este estudio predijeron que el impacto causado por un evento puede repetirse en un promedio de cada tres años con 0.7 de probabilidad. La vulnerabilidad de Tijuana a fenómenos naturales es resultado del crecimiento desordenado de la ciudad y falta de planeación para la construcción de nuevos fraccionamientos residenciales o parques industriales, urbanización de cauces naturales de agua, etc. Siendo resultado la catástrofe de

enero de 1993. En este sentido, los sistemas de información geográfica combinados con técnicas de percepción remota fueron utilizados para analizar problemas ambientales y espaciales.

Actualmente existe una gran variedad de satélites equipados con sensores capaces de proporcionar datos espaciales acerca de la distribución de los tipos de vegetación y usos del suelo en el territorio; cada sensor con distintas características en cuanto a resolución espacial, espectral y temporal. La resolución espacial determina la escala de los datos obtenidos, su nivel de detalle y el tamaño y tipo de objetos que pueden discriminarse adecuadamente a partir de los datos del sensor remoto (Martínez de Toda, 2001).

Las herramientas técnicas Sistemas de Información Geográfica (SIG) se refieren a un conjunto de procedimientos que sirven para observar, monitorear, almacenar y analizar el resultado de las observaciones. Para la generación de datos actualizados sobre terrenos específicos se recurre a la utilización de técnicas de percepción remota, apoyadas con levantamientos y verificaciones de campo; técnicas empleadas en el ámbito regional o local de gran utilidad en el establecimiento de planes integrales de manejo de recursos naturales. Los estudios de la superficie de la tierra se apoyan en técnicas de percepción remota mediante el registro de radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre mediante sensores a larga distancia. Su objetivo es obtener información cualitativa y cuantitativa de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre (Rosete y Bocco, 2003).

En el escenario de Chile, basado en conocimientos de Mena *et al.* (2006) y Sapunar *et al.* (1999), en la actualidad las empresas forestales requieren analizar grandes volúmenes de información cartográfica para llevar a cabo un correcto proceso de toma de decisiones en la planificación del uso de los recursos, presentando un creciente desarrollo que a futuro vislumbre la profundización de las

investigaciones aplicadas a temas referidos a incendios forestales, redes de accesibilidad, impactos ambientales de actividades forestales, silvicultura de precisión y modelos espaciales del terreno; en 1999, Sapunar *et al.*, idearon un sistema cartográfico de apoyo a la planificación de cosecha basado en los software comerciales ArcView, FoxPro y Excel; en 2003, Letelier diseñó e implemento una herramienta entorno SIG aplicando algoritmos de solución a problemas de localización óptima de canchas de acopio de madera; en 2004, Vergara y Gayoso analizaron el impacto ambiental generado por los caminos y la influencia que ejercen los centros poblados sobre los bosque nativos de la Provincia de Valdivia.

b. Manejo de los Sistemas de Información Geográfica en el ámbito biológico.

Hernández-Stefanoni y Ponce-Hernández en 2004, mapearon la diversidad vegetal en un mosaico de paisajes tropicales relacionando los índices de diversidad alfa y beta calculado a partir de 141 muestras e imágenes satelitales, confirmando la bondad de las clases asignadas en la variabilidad de la estratificación de la diversidad vegetal permitiendo el uso de clases asignadas como interpoladores espaciales de los valores de la diversidad de las plantas. Este estudio reveló que la diversidad vegetal del paisaje depende, en gran medida, de la diversidad contenida en la clase de los bosques más maduros, siendo la comunidad más diversa en el área estudiada e indicando una contribución significativa a la diversidad de los bosques tropicales.

En 2004, Villaseñor y Téllez determinaron la distribución potencial de cuatro especies del género *Jefea* (*Asteraceae*) con el uso de (BIOCLIM), software para modelar la distribución potencial de especies, evaluando 19 parámetros climáticos sobre la distribución conocida de las especies, siendo el área potencial de cada especie la regionalización propuesta por estos autores, extendiéndose a 26 regiones terrestres prioritarias de México en comparación con los registros herbarios de sólo 6

regiones, utilizando los registros de presencia de las especies y la información ambiental para generar los perfiles bioclimáticos que sintetizan las condiciones climáticas y sus atributos permitiendo observar los sitios adecuados de la especie bajo estudio (Fischer *et al*, 2001; Villaseñor y Tellez, 2004).

c. Manejo de los Sistemas de Información Geográfica y la regresión con Kriging.

En 2007 Hernández-Stefanoni y Dupuy, estimaron el número de especies en un paisaje de bosque tropical en Quintana Roo, con base en la relación entre los valores de reflectancia de imágenes satelitales y mediciones de campo de la densidad de especies de plantas. La predicción de la distribución espacial de la diversidad vegetal se realizó mediante regresión con kriging, considerando la relación lineal entre la densidad de siembra de especies y los valores de reflectancia de los mapas temáticos, así como la dependencia espacial de las observaciones. Sus resultados mostraron que la contabilidad de la auto-correlación espacial en la variación residual mejora el modelo; como fue el caso de la R^2 de 0.57 a 0.66 para el número de todas las especies arbustivas.

En 2009 Gómez *et al.*, realizaron un análisis de impacto del cambio climático en el sector forestal mediante simulaciones en la distribución potencial de 16 especies forestales en la República Mexicana para el escenario base como para tres modelos de cambio climático (GFDL-CM-2.0, MPI-ECHAM-5, HADGEM-1) bajo los escenarios socioeconómicos A2 y B2 a los horizontes de tiempo 2030 y 2050 m. para zonas templada, tropical, y semiárida.

En 2009 Hernández-Stefanoni *et al.*, determinaron la relación que existe entre las observaciones de campo de la densidad y la abundancia de especies arbóreas, comparado con imágenes satelitales; debido a que la interpolación espacial mejora la

precisión de la predicción de la densidad de especies y la abundancia de las especies arbóreas. En sus resultados determinaron que la densidad de las especies se relaciona con los valores de reflectancia de TM4, NDVI y la heterogeneidad espacial de los tipos de cubierta terrestre, mientras que la abundancia de las especies en grupos funcionales mostraron diferentes patrones de asociación con los datos de teledetección.

En 2010 Ramírez-Albores elaboró un registro de 8 414 individuos de aves pertenecientes a 35 familias y 225 especies, a través de un análisis de fotografías aéreas a escala 1:75:000 proporcionadas por el INEGI; siendo las familias con mayor número de especies, Tyrannidea, Parulidae, Icteridae y Trochilidae, representando el 34% de las especies reportadas por otros autores. Este autor llegó a la conclusión de que la alta riqueza puede deberse a que existe una gran variedad de hábitats, como convergencia biogeográfica de dos rutas migratorias importantes (Golfo y Pacífico) y la heterogeneidad fisiográfica en el área (Arriaga *et al.*, 2001).

En 2011 Dupuy *et al.*, investigaron los patrones de sucesión por clase de tamaño de plantas y evaluaron la influencia de la edad por lote, posición topográfica, propiedades de suelo y de autocorrelación espacial en la estructura del bosque y su composición, en un paisaje de 37, 242 hectáreas de un bosque tropical seco en la península de Yucatán, utilizando imágenes de satélite Spot5 con lo que obtuvieron un mapa temático de la cubierta vegetal y la muestra de la vegetación leñosa y las propiedades del suelo en las 168 parcelas distribuidas en 4 clases según la edad. En sus resultados la densidad de las especies y la composición del paisaje, fueron determinados por las variables asociadas con la fertilidad del suelo, y por la autocorrelación espacial, mostrando contraste entre adultos y jóvenes.

Hernández-Stefanoni *et al.* (2011) demostraron que la combinación de los datos de teledetección con estimaciones kriging para evaluar la posibilidad de mejorar la exactitud de los mapas de riqueza de especies arbóreas son capaces de

maximizar considerablemente la precisión de la estimación, con RK multivariado siendo claramente superior, ya que produce las predicciones mas precisas, debido a su flexibilidad en el modelado de las relaciones multivariantes entre la riqueza de los árboles y los datos de teledetección. Siendo esta una herramienta valiosa para orientar los esfuerzos futuros destinados a la conservación y el manejo de los bosques tropicales de gran diversidad por medio de mapas fiables y logísticamente económico.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El estudio se llevó a cabo mediante información de la Península de Yucatán, México. La Península de Yucatán representa el 2% de la superficie del país, con 39,612.15 Km². correspondiente a la parte que emerge de la plataforma continental y que separa al mar Caribe del Golfo de México (INEGI, 2005). Se diferencia en gran medida del resto del territorio de la República Mexicana, tanto por sus características físico-geográficas, como por la diversidad y riqueza de su biota. Comprende tres estados, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Flores y Espejel, 1994; Bautista *et al.*, 2005).

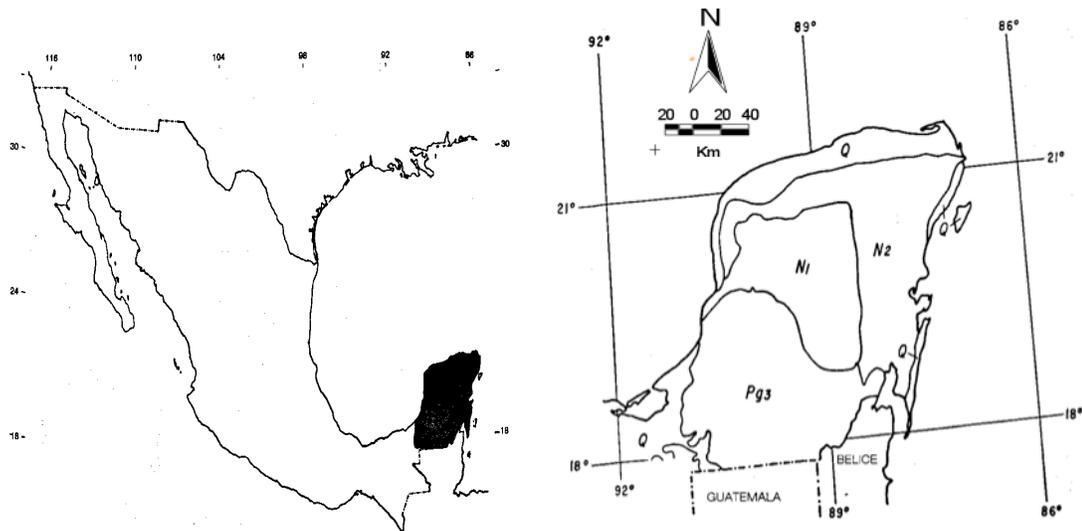


Figura 1. a) Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. Tomada de Lugo-Hubp *et al.*, 1992. b) Geología de la península de Yucatán (tomado de López-Ramos, 1975), Q cuaternario; N2 neógeno superior, plioceno; N1 neógeno inferior mioceno; Pg3 Palógeno superior, oligoceno.

La Península, aunque se localiza a latitudes aproximadas entre 18° y 21.5°, presenta altas temperaturas medias anuales debido a la fuerte influencia que ejercen sobre ésta las corrientes marítimas cálidas, procedentes de la Corriente Ecuatorial Norte derivando la Corriente Termohalina. Todas estas corrientes durante la mitad caliente del año son capaces de almacenar gran cantidad de calor, lo que se ve reflejado en la generación de tormentas tropicales y altas temperaturas. Durante la mitad fresca del año la temperatura es abatida sensiblemente por el paso de los

frentes fríos, los cuales se inician a finales de septiembre (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

Sus rasgos orogénicos están prácticamente ausentes, lo que es singular en el contexto nacional; el 90% de su superficie está a menos de 200 msnm., al sur se localiza el cerro Benito Juárez siendo la mayor altitud entre la llanura y el lomerío, y la Sierrita de Ticul, elevación prominente en dirección noroeste-sureste. Topográficamente se puede dividir en planicie Norte, Sierrita de Ticul y planicie Sur. En la mayor parte es tierra caliza y dura, carente de ríos y montañas, en la que el agua para volver al mar rompe brecha en el subsuelo una vez alcanzando el manto freático formando cavidades y aguadas interiores denominadas cenotes. Es un bloque tectónico único, sin plegamientos, del Paleozoico, cuyo límite es la falla Motagua. Su emergencia paulatina explica la asimetría que se extiende a unos 10 Km. en el margen del Caribe y hasta 200 Km. del lado del Golfo de México. El tercio Norte y la mitad Oriental están formados por Karst más recientes de planicie con elevación máxima de 10 m., compuesta por secuencias de capas horizontales de calizas y dolomitas de la formación de Carrillo Puerto con un espesor de 163 – 240 m. (Bedows *et al.*, 2002).

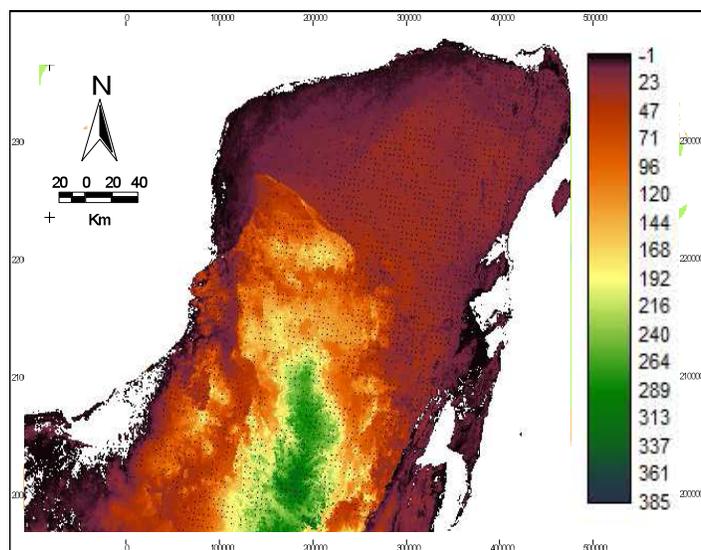


Figura 2. Mapa de altitud de la Península de Yucatán con valores de hasta 385 msnm.

a. Clima de la Península de Yucatán.

Las áreas de influencia climática (AIC) son definidas como unidades geográficas que representan las condiciones anuales y mensuales de las variables temperatura y precipitación en determinada región de la superficie terrestre (Gómez-Díaz *et al.*, 2009). Desde el punto de vista estratigráfico de los aspectos físicos de la Península de Yucatán presenta nueve subtipos climáticos (Flores y Espejel, 1994).

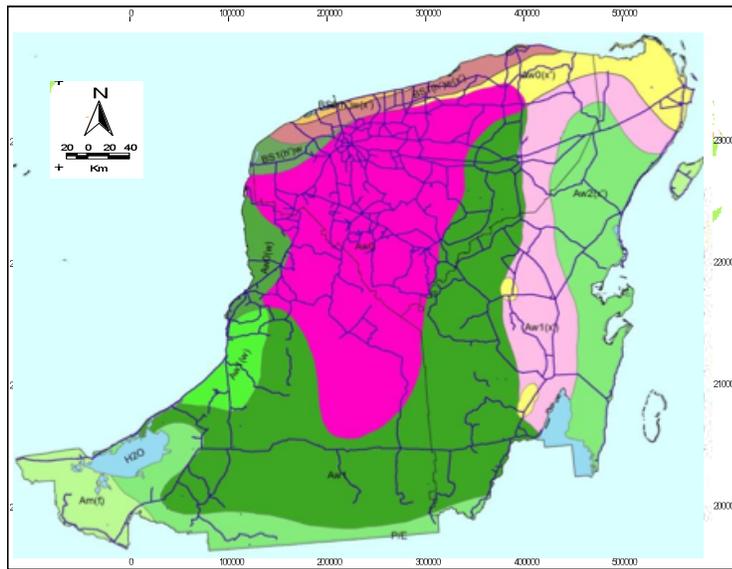


figura 3. Tipos de clima de la Península.

El clima de la Península de Yucatán presenta las condiciones más secas del clima húmedo, clasificado como tropical cálido subhúmedo con lluvias en verano en casi toda su extensión. La región Norte presenta una precipitación promedio anual de 450 a 650 mm. y una temperatura media anual de 25.9° C, el clima es semiárido (BS). La región Central presenta una precipitación promedio anual de 750 a 1200 mm. y una temperatura media anual de 26 a 27.6° C, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Awo). La región Sur cuenta con una precipitación media anual de 1300 a 1500 mm. con una temperatura media anual de 25.9 a 26.6° C, el clima presente es el cálido subhúmedo con lluvias en verano (Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994; Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

En el Noroeste, entre Sisal y Telchac, está el más seco de los semiáridos, cálido con lluvia en verano y sequía intraestival, con una temperatura media anual de 22 a 26° C (Orellana-Lanza *et al.*, 2010). En la parte norte de la Península, especialmente en el estado de Yucatán, se caracteriza por tener escasas lluvias y altas temperaturas; dicha franja se extiende desde Celestún hasta el Cuyo, alcanzando su parte más amplia en la zona de Puerto Progreso. La parte más seca de esta franja la encontramos en Puerto Progreso y las islas del arrecife Alacranes que está al Norte de este puerto siendo la estación de El Cuyo donde se registró la mayor precipitación (Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994).

El siguiente tipo climático del área que bordea a la antes descrita se distribuye entre Los Petenes y Celestún hasta Dzilam de Bravo en una estrecha franja corresponde al menos seco de los semiáridos, cálido con lluvias en verano y sequía intraestival (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

Hacia el Sur y rodeando este clima desde el Sur de Celestún, la porción Occidental y Noroeste de Yucatán, el Norte de Quintana Roo y Campeche, se encuentra el más seco de los subhúmedos con lluvias uniformemente repartidas y tendencias al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y sequía intraestival. El más seco de los subhúmedos con lluvias en verano, con bajo porcentaje de lluvia invernal, se presenta entre Hecelchakán y Bolonchén. En la Ciudad de Campeche y alrededores está el más seco de los subhúmedos con lluvia de verano muy bajo porcentaje de lluvia invernal. En la Zona Oriental de Yucatán, Centro, Sur de Campeche y Suroeste de Quintana Roo, se presenta un clima cálido subhúmedo intermedio con lluvias uniformemente repartidas y tendencias en verano, con alto porcentaje de lluvia invernal y canícula. Al norte de la Laguna de Términos, desde la costa hasta las inmediaciones de Silvituk, está el más húmedo de los subhúmedos con lluvia en verano y bajo porcentaje de lluvia invernal. Además hay dos zonas cálido húmedas con lluvias intensas en verano y alto porcentaje de lluvia invernal, en

la llanura costera del Golfo hacia Palizada, así como en Isla Cozumel (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

b. Temperatura de la Península de Yucatán.

En la península de Yucatán la temperatura media anual es de 26° C, en términos generales, los límites entre las zonas térmicas que dividen los climas cálidos húmedos es un intervalo de 24° C a 26° C para los cálidos y de 26° C a 28° C para los muy cálidos. La isoterma divisoria de 26° C se distribuye aproximadamente de Norte a Sur desde Progreso hasta la porción central Sur de Calakmul, en el límite con El Petén Guatemalteco. La porción Oriental es cálida y la porción Occidental resulta muy cálida (Orellana-Lanza *et al.*, 2010). Las isotermas son trazos de isolíneas aplicadas a la metodología (Gómez *et al.*, 2009).

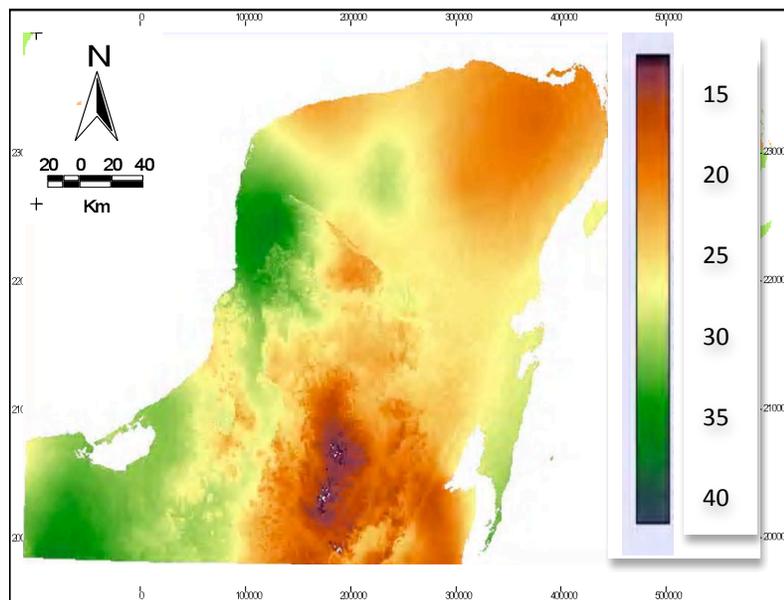


Figura 4. Mapas correspondientes a la temperatura anual del 2009 para la Península de Yucatán.

El intervalo de temperatura media que ocupa la mayor superficie está entre las isotermas de 25.75° C a 26.25° C. Se aprecia las máximas temperaturas, mayores a 26.75° C hacia el Golfo de México, en el Estado de Campeche, siendo las más elevadas en Laguna de Términos y Ciudad del Carmen. De manera Contrastante, las

temperaturas más frescas, cercanas a los 25.5° C. están en el Oriente del Estado de Yucatán, en el municipio de Tizimín, Álvaro Obregón, hacia el Río Hondo, localizado al Sur del estado de Quintana Roo y en la Isla Cozumel (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

c. Precipitación de la Península de Yucatán.

La Península de Yucatán está regida por patrones de circulación atmosférica propios de las zonas tropicales en el límite con las zonas áridas. La singularidad que tiene la región es la ausencia de orografía, lo cual no permite que se presente el efecto del ascenso orográfico de las nubes que descargan lluvia, como en otras regiones del país; el componente principal es el de lluvia convectiva. La península tiene una influencia muy importante de la celda anticiclónica atlántica Bermuda Azores. Ésta es una determinante muy importante de las altas presiones y el consecuente predominio de despejados que existe en la arista Noroeste peninsular, el que es árido (Orellana-Lanza *et al.*, 2010). El régimen de lluvias marca el patrón climático en secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre), nortes (noviembre-febrero) y la temporada de huracanes que va de agosto a septiembre (Herrera, 1998).

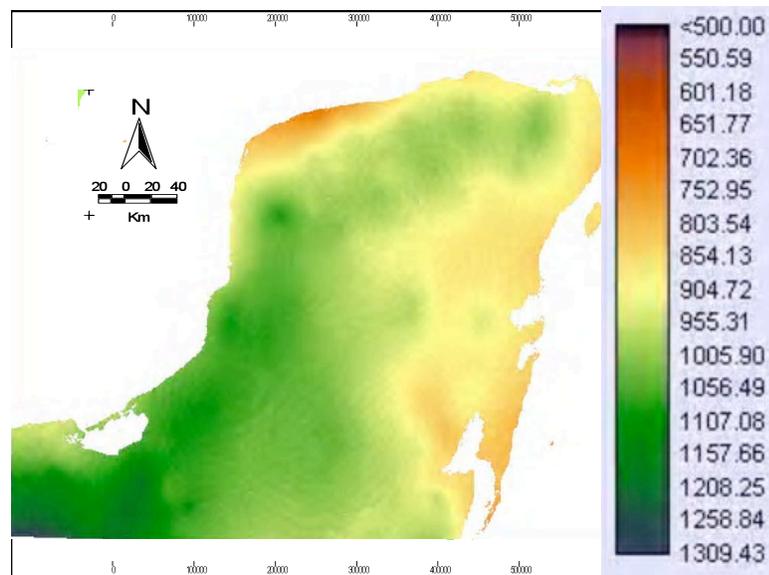


Figura 5. Mapa correspondiente a la precipitación anual del año 2009 para la Península de Yucatán.

Durante la mitad caliente del año, el anticiclón se desplaza hacia el Norte, lo que permite que puedan penetrar los vientos del Este o alisios con suficiente fuerza y humedad, proveyendo a la región de lluvia de forma diferencial en un gradiente de Noroeste a Sur. Dentro del sistema de circulación de la celda atlántica, se forma a lo largo del verano un considerable número de ondas tropicales, que atraviesan de Este a Oeste la región y agudizan las lluvias estivales, dejando por lo regular mal tiempo durante uno a dos días (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

Durante el verano y como consecuencia del sobrecalentamiento del Océano, se forman las tormentas tropicales que pueden dar lugar a los huracanes en cualquiera de las categorías que alcancen eventualmente. Las zonas de génesis de los huracanes que afectan a la Península provienen del Mar de las Antillas o del Atlántico Oriental (Cabo Verde). El aporte de lluvia por estos fenómenos se asocia con el mes de Septiembre, de máxima frecuencia. Desde finales del otoño y hasta el inicio de la temporada de lluvia del siguiente año, la Península es recorrida por los frentes ríos, los que si están saturados de humedad, denominados “nortes”, depositan lluvia; si no son húmedos, sólo abaten la temperatura dejando días frescos. Los mayores porcentajes de lluvia invernal se presentan en el Este y Noroeste de la Península, condición que en algunos sitios llega a cerca del 18% (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

Considerando las tres fuentes principales de precipitación pluvial, en la Península se dispone de tres regímenes de lluvia: de verano, intermedio o irregular con tendencia al verano, y de verano con alto porcentaje de lluvia invernal. El más abundante es de verano con alto porcentaje de lluvia invernal. La mayor parte de la Península, se presentan dos periodos de sequía: la preestival o de primavera, que abarca un periodo de dos a cuatro meses, y la intraestival o canícula, que se presenta desde finales de julio a septiembre. La región presenta un gradiente de precipitación desde una zona seca menor a 600 mm. de lluvia en el Noroeste, a una húmeda en el Sur, sobre todo en el Suroeste con más de 1400 mm. en las

inmediaciones de Laguna de Términos y limitando con la llanura costera del Golfo. La mayor proporción de superficie recibe entre 1000 y 1200 mm. (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

d. Índice de humedad de la Península de Yucatán.

Proyecta un gradiente que comprende los límites semiáridos, subhúmedos y húmedos, que se distribuyen de Norte a Suroeste de la Península. La región en su mayor extensión es subhúmeda con valores en un intervalo de 43.2 a 55.3 (P/T). Existe una franja hacia la costa Noroeste peninsular con P/T menor de 22.9. Al Sur de ésta se presenta una extensa zona con valores entre 22.9 a 43.2 que corresponde a la distribución original de la Selva baja Caducifolia, bordeando paralelamente a la costa hasta Cancún, Quintana Roo. La siguiente zona entre 43.2 – 55.3 se distribuye al Sur y al Oriente de la Península y es la que corresponde a la distribución original de las Selvas medianas y altas Subcaducifolias y Subperennifolias. La última región con un P/T mayor a 55.3, considerado como muy húmedo, se encuentra la Selva alta Perennifolia, al Oeste de Candelaria y hacia la llanura costera del Golfo (Orellana-Lanza *et al.*, 2010).

e. Vegetación de la Península de Yucatán.

Rzedowski (1978) consideró la Provincia de Yucatán como una unidad fisiográfica que consiste primordialmente de vegetación Caducifolia, Subcaducifolia y Perennifolia (Vera-Castillo, 2002). Se calculan alrededor de 2,200 especies entre plantas nativas e introducidas de manera que reúne un componente genético proveniente de diversas latitudes como América del Norte, las Antillas Mayores y Menores, constituyendo un puente de influencia genética de las propias Antillas y América del Sur y Central, permitiendo la influencia genética de América del Sur, en especial Colombia, Perú y Venezuela. Todo contribuyó a una evolución propia de la flora de la región al grado que se encuentra una considerable cantidad de

endemismos (Arellano *et al.*, 2003). Las diferentes unidades de paisajes se manifiestan claramente entre las llanuras con desarrollo cárstico, con predominancia de diferentes tipos de Selvas y Matorrales, y las que conforman los humedales de la Península caracterizados mayormente por la presencia de Manglares y Tulares (Chiappy-Jhones *et al.*, 2000). Se observa en bloque de franjas paralelas de vegetación, orientado Noreste a Suroeste, en donde se registran Selva baja Subperennifolia, Selva mediana Subcaducifolia y Subperennifolia, vegetación secundaria de estos como producto de la perturbación. En la costa Norte, en El Cuyo se tiene en las playas vegetación de Dunas Costeras. Se puede observar que la zona de Tizimín es la más deforestada del Estado (Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994).

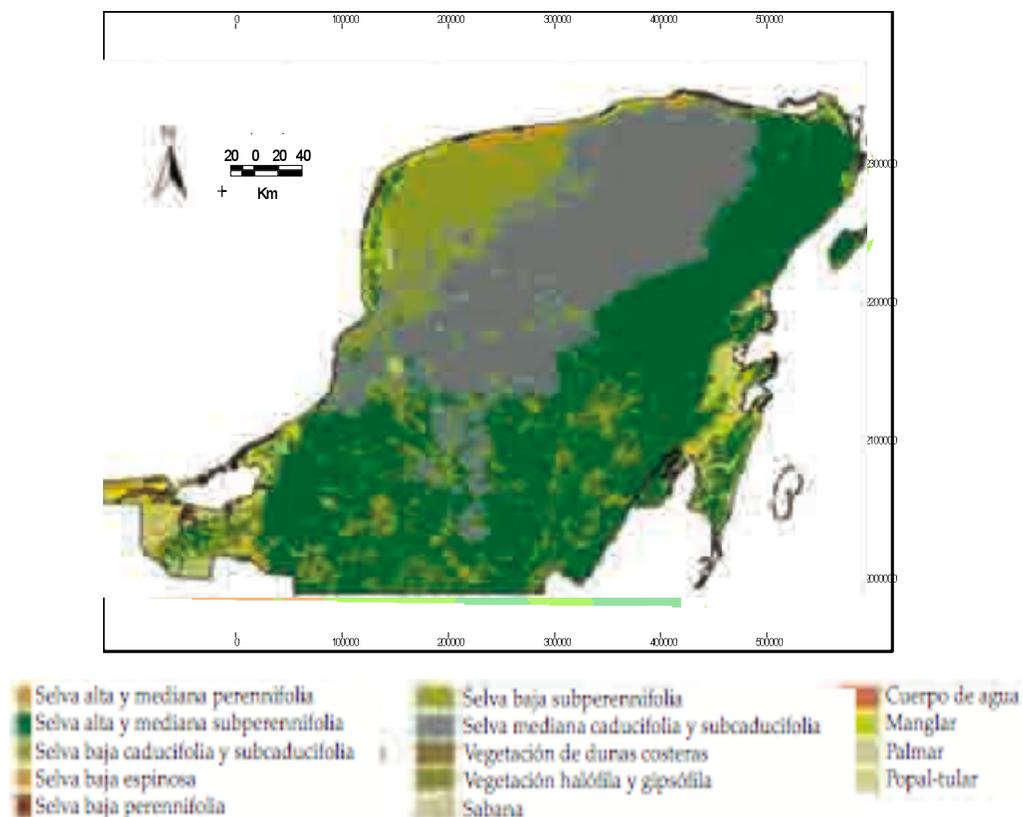


Figura 6. a) Mapa de vegetación de la Península de Yucatán (Secaira *et al.*, 2004). Y b) leyenda del mapa de vegetación de la Península de Yucatán.

El Estado de Yucatán comprende tres subregiones. Al Norte de Yucatán encontramos la Selva baja Caducifolia, la más seca, tipo de Selva seca de gran importancia debido a su aridez del clima y la pobreza en nutrientes del suelo, que a pesar de ello da como resultado la presencia de especies endémicas (Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994; Ibarra-Manríquez *et al.*, 2003; Carnevali *et al.*, 2003; Orellana *et al.*, 2003). También se encuentra presente Selva baja Caducifolia espinosa y Selva baja Caducifolia. En la Selva baja Caducifolia el régimen de lluvias empieza un poco más tarde que en las zonas de distribución de otras comunidades, con un promedio bajo de precipitación al año, lo que favorece la presencia de líquenes costrosos, epífitas y elementos espinosos, especialmente cactáceas y leguminosas. Siendo las más comunes: *Acacia pennatula*, *Acacia farnesiana*, *Acacia gaumeri*, *Acacia cornigera*, *Acacia collinsi*, *Mimosa bahamensis*, *Pithecellobium albicans*, *Pithecellobium ungis-cati*, *Pithecellobium dulce*, *Leucaena leucocephala*, *Senna emarginata*, *Piscidia piscipula*, *Gymnopodium floribundum*, *Bursera simaruba*, *Bursera schlechtendalli*, *Psidium sartorianum*, *Coccothrinax readii*, *Acrocomia mexicana*, *Opuntia dillenii*, *Nopalea gaumeri* y *Acanthocereus pentagonus*. La Selva baja Caducifolia está constituida por árboles con alturas de 6 a 15 m., y con un diámetro de altura al pecho de 10 a 30 cm. En este tipo de clima se distribuyen los tipos de vegetación xerófitos y halófitos, así como Selva baja Caducifolia espinosa (representada entre Progreso y San Benito, Yucatán), en este clima también se distribuyen otros tipos de vegetación tales como el de duna costera y manglar (Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994).

En la región central de Yucatán se observa Selva baja Caducifolia de 10 a 15 años de sucesión, la cuál está dominada por *G. floribundum*, *P. piscípula* y *Lysiloma bahamensis*. En la región Sur del Estado, la vegetación es Selva mediana Subcaducifolia dominada por especies arbóreas como *P. piscípula*, *Guazma ulmifolia*, *Bauhinia divaricata*, *Acacia pennatula*, *Caesalpinia gaumeri*, *Caesalpinia platyloba*, *Lysiloma latisilliquum*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Mimosa bahamensis*, *Spondias bombin*, *Metopium brownei*, *Cochlospermum vitifolium*, *Guazuma*

ulmifolia, *Trema micrantha*, *Annona reticulata*, *Gyrocarpus americanus*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium dulce*, *Pithecellobium albicans*, *Sapindus saponaria*, *Gliricidia sepium*, *Acacia cornígera*, *Cedrela mexicana*, *Bursera simaruba*, *Simaruba glauca*, *Vitex gaumeri*, *Bucida cuceras* y *Gymnopodium floribundum* (Miranda y Hernández, 1963; Flores-Guido y Espejel-Carvajal, 1994).

El Estado de Campeche se divide en cuatro subregiones. La Montaña de los Chenes, es una continuación del bloque de las franjas paralelas de vegetación, orientado de Noreste a Suroeste con respecto al Estado de Yucatán, en donde se sigue registrando Selva baja Subperennifolia, Selva mediana Subcaducifolia, Subperennifolia y vegetación secundaria de estos tipos de selva, como producto de la perturbación por actividades agrícolas y pecuarias, tales como la agricultura de temporal, pastizales inducidos y creación de sabanas. El Municipio de Calakmul, se registra Selva alta Subperennifolia al Sur, al centro y Norte Selva mediana Subcaducifolia y Subperennifolia, Selva baja Subperennifolia y vegetación secundaria de estos tipos de selva como producto de la perturbación por la agricultura de temporal y los pastizales inducidos. Las localidades vecinas a Los Petenes, se registra Selva mediana Subcaducifolia, Selva baja espinosa, Sabanas, Popal y vegetación secundaria. Localidades de Escárcega-Candelaria, registra manchones de Selva mediana Subcaducifolia, Selva mediana Subperennifolia y vegetación secundaria de estos tipo de vegetación como producto de la perturbación por agricultura de temporal, pastizales cultivados y pastizales inducidos, siendo la región más deforestada del Estado (Colegio de la Frontera Sur, 2012).

El Estado de Quintana Roo se divide en tres subregiones. En el centro del Estado se registra Selva mediana Subcaducifolia y Subperennifolia, así como vegetación secundaria. Al Norte del Municipio de Othon P Blanco se registra Selva mediana Subperennifolia, Selva baja Subperenifolia, Sabanas y vegetación secundaria. Al Sur del Estado y riberas del Río Hondo donde se registra Selva mediana Subperennifolia, Selva baja Subperennifolia muy fragmentada, Sabanas y

vegetación secundaria como producto de la perturbación ocasionada por la agricultura de temporal, Pastizales cultivados y Pastizales inducidos, siendo esta región las más deforestada del Estado (Colegio de la Frontera Sur, 2012).

f. Descripción de *Brosimum alicastrum*.

Conocido en la costa del Pacífico mexicano como “capomo, uje o mojo”, su mayor abundancia y desarrollo se presenta en zonas tropicales húmedas; su área de distribución en México va desde el Sur de Sinaloa a Chiapas y del Sur de Tamaulipas a la Península de Yucatán (Vega *et al.*, 2003). Desde un punto botánico, sabemos que este árbol crece fundamentalmente en Mesoamérica, que se desarrolla en diferentes ecosistemas, abunda en las Selvas medianas y altas, y que proporciona alimento a la fauna silvestre. En el caso de Yucatán, donde no hay suelo para desarrollar sistemas intensivos, la producción del Ramón beneficiaría por los servicios ambientales que ofrece siendo altamente deseable (Larqué-Saavedra, 2011; Vega-López *et al.*, 2003). Es uno de los árboles de usos múltiples que mayor utilidad tiene para beneficio de las poblaciones humanas, es de gran importancia en la composición del paisaje y su madera se utiliza para la construcción en general, así como para entarimado y elaboración de artesanías (Sanchez-Velázquez *et al.*, 2004; Flores-Guido y Bautista, 2005; Gómez-Díaz *et al.*, 2009);

El fojalle, tallo joven, los frutos y las semillas del Ramón constituyen un excelente forraje para el ganado bovino, caprino, equino y ovino; ofrece un potencial de producción en forraje para época de sequía cuando el volumen de los pastos es menor, al igual de ser una especie prometedora en la restauración de áreas degradadas, y promotor para la sustentabilidad del lugar (Aronso *et al.*, 1993; Bainbridge *et al.*, 1995; Ayala y Sandoval, 1995; Pérez *et al.*, 1995; Ashton *et al.*, 1997; Sánchez-Velázquez *et al.*, 2002; D' Antonio y Meyerson, 2002; Sánchez *et al.*, 2004). Promueve la conservación a largo plazo para el funcionamiento, manejo y aprovechamiento del sistema, mejora en respuesta al abastecimiento alimenticio y

bienestar animal impulsando un mayor rendimiento en todo el sistema en los diversos niveles de producción, desde campesinos hasta grandes ganaderos (Sanchez-Velázquez *et al.*, 2004; Flores-Guido y Bautista, 2005).

Desde hace algunos años, la semilla extraída del fruto del Ramón está ganando especial interés en el mercado nacional como un producto forestal con alto valor nutricional y un gran potencial como agroindustria rural. En el año 2004, la Sociedad Civil Organización Manejo y Conservación-OMYC, concesionaria de la Unidad de Manejo Uaxactún en la zona de usos múltiples de la Reserva de Biósfera Maya en Petén, inició el aprovechamiento de la semilla de Ramón, con la autorización del Consejo Nacional de Áreas Protegidas a través de una licencia de colecta (Vohman, NP)

Vega-López *et al.* (2003) apreciaron que *B. alicastrum* se localiza principalmente en aquellos sitios donde las condiciones edáficas ofrecen a la planta una mayor disponibilidad de agua a lo largo del año, ya que la mayor parte de los suelos donde se desarrolla son profundos y con alta capacidad para su almacenamiento o están sujetos a la acumulación de humedad residual proveniente de escurrimientos de las partes altas y a la infiltración, así como de otras fuentes permanentes de agua. Esta especie parece ser tolerante a restricciones en el suelo (altos niveles de pedregosidad, rocosidad y carbonato de calcio) y a una escasa apertura del dosel. La especie presenta una abundancia reducida en la comunidad, pero su papel en la dinámica y estructura de la misma puede ser importante. Bajo los árboles masculinos del Ramón se ha presentado una elevada diversidad de plántulas sin que domine alguna especie, al igual que una baja diversidad de plántulas, la mayoría (> 80%) de esta especie bajo la cobertura de los árboles femeninos. Esto sugiere que *B. alicastrum* favorece la regeneración de otras especies, facilitando la coexistencia de especies de árboles de dosel (CONABIO, 1972).

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, con presencia de *B. alicastrum*, depende principalmente de la profundidad del mismo y, en menor medida de su capacidad de retención de humedad según su textura, no obstante existe una correlación positiva entre la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y el periodo de crecimiento vegetal para los diferentes tipos de vegetación en que esta especie arbórea se encuentra; así mismo, la densidad como el área basal tienen una estrecha relación con la precipitación y el período de crecimiento vegetal, siendo esta relación más alta para la densidad con el período de crecimiento vegetal y para el área basal con la precipitación (Vega *et al.*, 2003).

Comprende comunidades de amplia distribución con alturas de 12 a 20 m. con un diámetro de altura al pecho de hasta 1 m., llegando a tener una dominancia de más del 90% por lo que éstas asociaciones se conocen como “ramonales”. En algunas zonas muy húmedas se presenta una variante de 20 m. de altura dominada por *Pseudolmedia spuria*; Se observan en lugares con suelo poco desarrollado, en pendientes pronunciadas y generalmente asociada a ruinas. Tienen una gran variación en cuanto a fenología foliar, ya que se pueden encontrar en Selvas medianas Subcaducifolias ampliamente distribuidas en las laderas Suroccidentales y en Selvas altas Perennifolias en la meseta y las laderas Orientales del centro y Sur (Martínez y Galindo, 2002).



Figura 7. Imagen de árbol, corteza, hojas y flores del ramón tomadas de Morales-Ortiz y Herrera-Tuz. 2009. Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz.). Protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje.

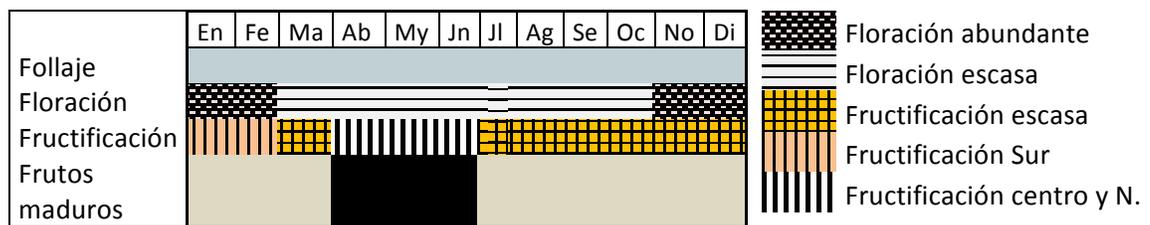
El Ramón presenta copa piramidal densa; Corteza externa lisa en árboles jóvenes, y en adultos es áspera, frecuentemente escamosa en piezas grandes y cuadradas, de color gris clara a parda; Corteza interna de color crema amarillento, fibrosa a granulosa, con abundante exudado lechoso, ligeramente dulce, con hojas alternas simples de color verde oscuro, brillante en el haz, y verde grisáceas en el envés, ovadolanceoladas a ovadas o elípticas (2 a 7.5 cm. de ancho por 4 a 18 cm. de longitud), con ápice agudo o notablemente acuminado en las hojas jóvenes. La lámina de la hoja presenta con mucha frecuencia en el haz, agallas amarillentas en forma de dedos de guante de 3 a 4 mm. de largo. Especie monoica, con flores en cabezuelas axilares de 1 cm. de diámetro; cada cabezuela verdosa consiste en muchas flores masculinas y una sola flor femenina (Morales-Ortiz y Herrera-Tuz, 2009). Los frutos se clasifican como recalcitrantes, no sobreviven a condiciones de sequedad o frío; son bayas de 2 a 2.5 cm. de diámetro, globosas con pericarpio carnoso que presentan coloración verde cuando está inmaduro, y verde amarillento a anaranjado rojizo al madurar; con sabor y olor dulce. Cada fruto contiene una semilla de 1.5 a 2 cm. de diámetro cubierta de una testa papirácea amarillenta con los cotiledones montados uno sobre el otro de sabor dulce (Morales-Ortiz y Herrera-Tuz, 2009). En el siguiente cuadro se presenta la matriz de requerimientos de *Brosimum alicastrum* para su óptimo crecimiento.

Cuadro 1. Matriz de requerimientos para *Brosimum alicastrum* (Gómez *et al.*, 2009).

variable	Categoría de aptitud			
	Apto	Moderadamente apto	Marginalmente apto	No apto
Precipitación media anual (mm)	1200-3000	900-1200 >3000	600-900	<600
Temperatura media anual (° C)	22-25	18-22 26-28	15-18 28-30	<15 >30
Temperatura media anual del mes más frío (° C)	>20	15-20	13-15	<13
Temperatura media del mes más caliente (° c)	26-28	21-25 28-30	19-21 31-32	<19 >32
Periodo seco anual (meses)	0-3	4-5	6	7-12

Durante el ciclo fenológico del Ramón para la Península el follaje se conserva durante todo el año; su floración se observa de Noviembre a Febrero. Siendo la región Sur donde empiezan a florecer algunos individuos desde el mes de Noviembre y en la región centro y Norte se inicia en los meses Enero y Febrero. En cuanto a la floración se pueden encontrar frutos en casi todo el año, sin embargo el periodo de mayor abundancia es de Enero a Febrero en el Sur y de Abril a Junio en el centro y Norte de la Península. Con respecto a la maduración de los frutos en la zona Norte, específicamente en Mérida, se observan frutos maduros desde Abril hasta Junio y en el Sur en los meses de Septiembre, Enero y Febrero (Morales-Ortiz y Herrera-Tuz, 2009).

Cuadro 2. a) Calendario fenológico de *Brosimum alicastrum* para la Península de Yucatán; b) simbología del calendario fenológico.



Las semillas se colocan en los semilleros a una distancia de 10 x 10 cm. Se tranplantan en bolsas negras de 10 cm. de ancho x 20 cm. de largo. El transplante definitivo se hace cuando la planta alcanza 50 cm. de altura, a distancias no menores de 3 x 3 m. Se considera regar cada 3 días, y responde bien a las podas. Se comienzan a podar al alcanzar los 3 m. de altura y se deben deshierbar cada dos años o antes. Su propagación puede darse por reproducción asexual o sexual. Para su reproducción asexual puede usarse estacas. Cuando se reproduce por estacas produce frutos en menos de 5 años. Se utilizan estacas de 1 a 3 m. de alto y de 5 a 15 cm. de diámetro y se siembran a una distancia de 1 a 3 m. Para su reproducción sexual o regeneración natural llegan a sobrevivir 5 de cada 125 plántulas. Las semillas se producen a los 5 años de edad a través de los frutos del árbol (Morales-Ortiz y Herrera-Tuz, 2009).

Sus semillas son dispersadas por aves y mamíferos (ornitoquiropterócora). Entre sus dispersores se han registrado a los murciélagos *Artibeus jamaicensis*, *A. phaeothis*, *Sturnira udoyice* y *Corollia perspiciliata*; al mono aullador (*Alouatta palliata*), ardillas (*Sciurus yucatanensis*), mapaches (*Procion lotor*). En Quintana Roo se observaron dispersando las semillas, la chachalaca común (*Ortalis vetula*), el faisán real (*Crax rubra*). Como dispersor secundario está el ratón (*Heteromys desmarestianus*) (CONABIO, 1972)

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

a. Inventario Nacional Forestal y de suelos.

Se obtuvieron los datos de abundancia y área basal de *Brosimum alicastrum* correspondientes a la Península de Yucatán a partir del Inventario Nacional Forestal, operado por la Comisión Nacional Forestal y normativa de SEMARNAT de acuerdo con la ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2004). Dentro del Inventario Nacional Forestal se observa un total de 21,772 conglomerados en general para la Península; cada conglomerado cuenta con 4 sitios de colecta, habiendo un registro de 431 especies presentes en la Península, siendo un total de 419,637 individuos registrados para todas las especies. De los cuales sólo en 3,279 conglomerados hay presencia de *B. alicastrum*.

Con esta información se elaboró una base de datos, a partir de los 3,279 registros de conglomerados correspondientes del Ramón dentro de la Península. Algunos registros no se tomaron en cuenta, debido a que se encontraron en zonas no aptas para el crecimiento de la especie, como en el caso la vegetación de Manglar y Tular. Al final se consideraron en este estudio un total final de 3,180 registros de conglomerados con presencia del Ramón, con un registro total de 4,050 individuos presentes de esta especie. En cada conglomerado se contabilizaron todos los individuos leñosos con un diámetro de tallo mayor o igual de 7.5 cm.

La abundancia se calculó mediante un filtro; en cada conglomerado se contabilizó la presencia de la especie, señalando el número total de individuos por conglomerados. Mientras que el área basal se calculó a partir del diámetro normal del Inventario Nacional Forestal con la siguiente fórmula: $AB = \pi * r^2$ donde r^2 es igual a $(D/2)^2$, y después de despejar se obtiene de la siguiente fórmula: $AB = \pi * D^2/4$.

Para el Inventario Nacional Forestal se obtuvieron 244 imágenes por medio de 25 registros a través del sensor MODIS, banda 1 y 2 con 250 m. de resolución espacial (roja e infrarroja) corregidas, correspondientes al 15 de Febrero a 15 de Abril. Esta información fue obtenida en el servidor CONABIO ocupando 60 días para lograr un compuesto de imagen promedio libre de nubes que garantice la detección de cambios en la totalidad del país con el menor número de píxeles eliminados de las 16 regiones que dividen al país. Dado que el comportamiento espacial de la vegetación en México es muy complicado, se hace la división del país por regiones. Las imágenes selectas fueron georeferenciadas mediante LANDSAT 7 con un error medio cuadrático (RMS) de 3 píxeles (90 m.) correspondientes a ecosistemas naturales de Bosque y Selva del país, descartando áreas urbanas, carreteras, zonas agrícolas y pecuarias. A las 25 imágenes con eliminación de nubes se les aplicó un proceso de máscara sobre el mar usando información derivada del mosaico LANDSAT 7 2003 y de información de Marco Geoestadístico Nacional de INEGI.

Para este trabajo se tomó en consideración solo 2 de las 16 regiones, correspondientes a la Península de Yucatán, siendo estas: región Península de Yucatán y región Golfo de México Sur-Este, con 1,007 puntos de colecta. Los puntos de muestreo del Inventario Nacional Forestal, fue controlado por una red de cuadros continuos de 5 x 5 Km. dentro de los que se ubicaron 100 sitios de muestreo circulares de 1000m²., localizados en 5 hileras de 20 sitios cada una (con una equidistancia entre hileras de 1 Km. y 250 m. entre sitios).

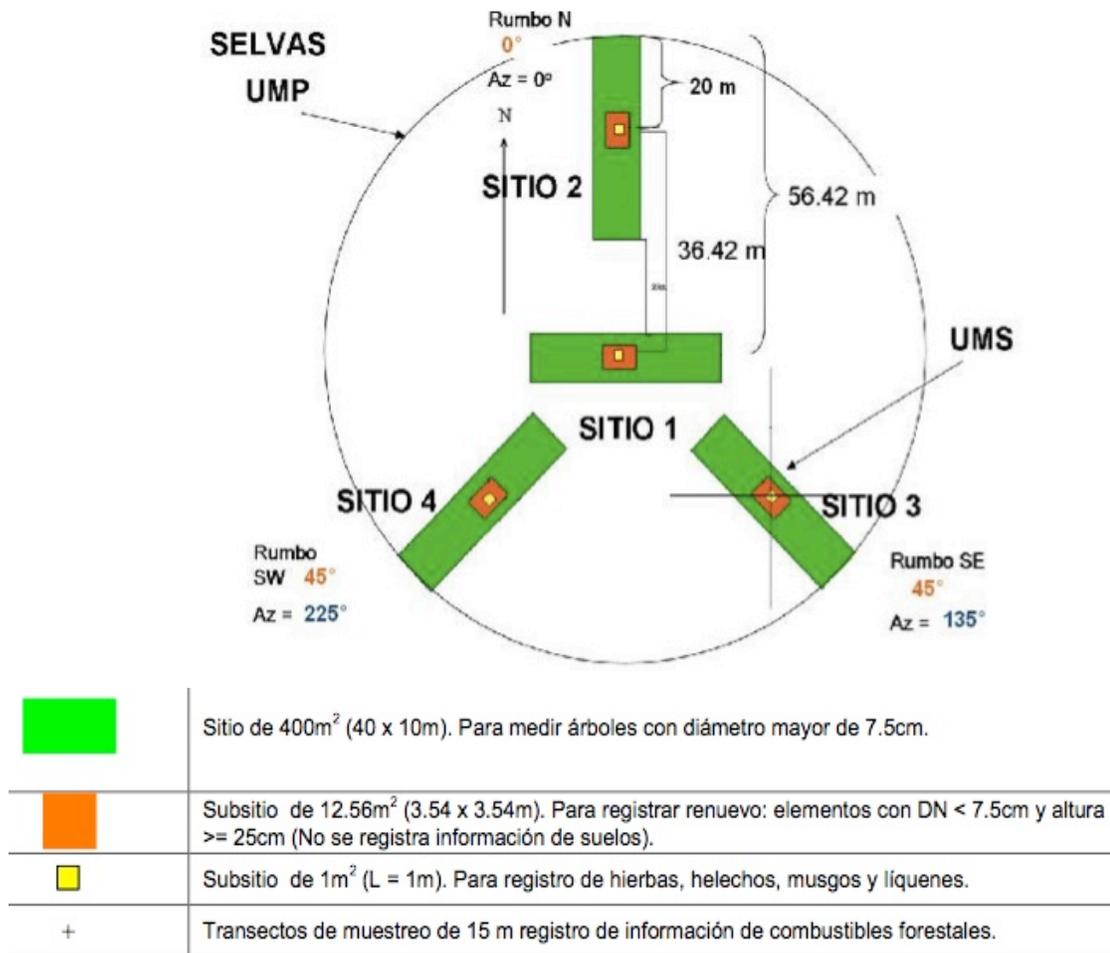


Figura 8. a) Forma de la unidad de muestreo a utilizarse en Selvas Altas, Medianas, Selvas Bajas, Petén, Selva de Galería, Manglar, Popal, Tular; b) Simbología de los conglomerados (CONAFOR, 2009).

Cada conglomerado (unidad de verificación) estuvo constituido por 3 sitios de muestreo circulares de 1000 m². dispuestos en forma de “L”. La equidistancia entre conglomerados según los diferentes estratos sobre el territorio nacional fue de 5 x 5 Km. para Selvas, 5 x 7.5 Km. para Bosques, 10 x 15 Km. para Selvas bajas, y de 25 x 25 Km. para otra vegetación.

b. Información ambiental.

Del portal WorldClim- Global Climate Data se obtuvo los mapas correspondientes a la información climática de la Península de Yucatán con una resolución espacial de 1 km². En este trabajo se consideró la temperatura (temperatura mínima, temperatura media y temperatura máxima), precipitación, altitud y variables BIOCLIM completas (numeradas del 1 al 19) para generar el perfil bioclimático (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).

Cuadro 3. Abreviaturas de las variables bioclimáticas (BIOCLIM) tomado del portal <http://www.worldclim.org/bioclim>

- BIO1 = Temperatura media anual.
- BIO2 = rango media diurnal (media mensual)(max temp – min temp)).
- BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100).
- BIO4 = temperatura por temporadas (desviación estándar *100).
- BIO5 = Máximo de temperatura del mes más caluroso.
- BIO6 = Mínima de la temperatura del mes más frío.
- BIO7 = Rango anual de la temperatura (BIO5-BIO6).
- BIO8 = Media de la temperatura del cuarto más húmedo.
- BIO9 = Media de la temperatura del cuarto más seco.
- BIO10 = Media de temperatura del cuarto más caluroso.
- BIO11 = Media de la temperatura del cuarto más frío.
- BIO12 = Precipitación anual.
- BIO13 = Precipitación del mes más húmedo.
- BIO14 = Precipitación del mes más seco.
- BIO15 = Precipitación por temporada (Coef. de Variación).
- BIO16 = Precipitación del cuarto más húmedo.
- BIO17 = Precipitación del cuarto más seco.
- BIO18 = Precipitación del cuarto más caluroso.
- BIO19 = Precipitación del cuarto más frío.

Las variables bioclimáticas se derivan de la temperatura mensual y de los valores de la precipitación, con el fin de generar variables biológicamente más significativas. Estas variables representan las tendencias anuales (por ejemplo, la

temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (por ejemplo, el rango anual de la temperatura y precipitación), y los factores ambientales extremos y limitantes (la temperatura del mes más frío y el más caluroso, y la precipitación de los cuartos húmedos y secos. Un cuarto es un periodo de tres meses, es decir, un cuarto del año).

Se obtuvo un mapa para cada una de las categorías: temperatura (temperatura mínima, temperatura media y temperatura máxima), precipitación, BIOCLIM (1 al 19) y altura. Los mapas del paisaje en formato .BIL de las zonas 22 y 23 se exportaron al formato del software DIVA-GIS 7.3.0 con el fin de corregir las medidas y cortar las imágenes con las coordenadas mínimo (-92.55, 17.76) y máximo (-86.60, 21.74) correspondientes a la Península de Yucatán descartando el resto del País. Las imágenes ya listas, se exportaron al formato .rst con el software DIVAGIS que generaron los mapas raster en Idrisi32. Alternadamente se creó un archivo .txt que almacena los 3186 puntos con sus coordenadas para la capa de puntos. Una vez definidas las localidades con condiciones climáticas similares, se extrajo la información climática de los 3186 conglomerados por medio del Software Idrisi32 para cada una de las categorías agrupados por temporadas de nortes, lluvias y secas las variables de temperatura y precipitación; Información que sirve para generar los mapas de distribución de la especie (Villaseñor y Téllez, 2004).

c. Percepción remota e imágenes satelitales.

El monitoreo de la cubierta vegetal se realizó mediante la comparación mensual del año 2009 del NDVI estimado a partir de las imágenes de satélite del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) ubicados en los satélites TERRA-1 y AQUA-1. Las imágenes del sensor MODIS son de diferente resolución espacial, usan las bandas 1 y 2 con 250 m. de resolución (banda roja e infrarroja) y se apoya para fines de visualización en las bandas 3 -7 (500 m. de

resolución), en la cual la combinación usada para mostrar la cobertura de la tierra es: 7 en el cañón rojo, 2 en el cañón verde y 1 por el cañón azul.

Cuadros 4. Cuadro de resolución espectral para el monitoreo de la cubierta vegetal.

*El sensor presentó fallas en los canales 13 y 14, por lo tanto no se integran en la imagen. Tomado del portal NASA <http://www.nasa.gov/>

Canal	Región del espectro	Longitud de onda (m m)	Resolución espacial (metros)
1	Visible	0.620 – 0.670	250
2	Infrarrojo cercano	0.841 – 0.876	250
3	Visible	0.459 – 0.479	500
4	Visible	0.545 – 0.565	500
5	Infrarrojo cercano	1.230 – 1.250	500
6	Infrarrojo cercano	1.628 – 1.652	500
7	Infrarrojo cercano	2.105 – 2.155	500

En este trabajo se usaron imágenes MODIS con una resolución espacial de 1K m. obtenidas del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites NOAA (National and Atmospheric Administration) y del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de los satélites TERRA-1 y AQUA-1 con sus respectivas 7 bandas, bajadas del portal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) correspondientes a los 12 meses del año 2009, georeferenciadas a 23° Norte, 15° Sur, -96° Este, y -86° Oeste eliminando el resto del país. Se usó el software ENVI para abrir las imágenes en formato .hdf, y se exportaron en formato GEO/TIFF al software Idrisi32 del que se extrajeron los valores de NDVI para cada punto.

El índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI) es usado como indicador de biomasa o grado de verdor de la cubierta vegetal, diseñados para ser operacionalmente aplicados antes del lanzamiento de satélites de observación de la tierra (CONAFOR, 2011; Sebem Elódio, 2005). El monitoreo de la cubierta vegetal del país se realizó mediante la comparación anual del NDVI estimado a partir de las

imágenes de satélite MODIS. A través de este indicador se detectaron zonas de aumento, zonas de recuperación y zonas de disminución del vigor vegetal relacionadas con áreas posibles de procesos de degradación que nos permiten comparar. Al comparar imágenes MODIS se apreciaron claramente la separabilidad de las zonas con cubierta forestal y sin cubierta forestal, mostrando variación fenológica inter anual de la vegetación con los periodos de caducifoleidad muy marcados (CONAFOR, 2011). Se expresa de la siguiente manera:

$$NDVI = \left[\frac{B2 - B1}{B2 + B1} \right]$$

(Deering, 1978)

NDVI= Índice Normalizado Diferencial de Vegetación.

B2= Banda Infrarroja cercana.

B1= Banda roja.

La resolución radiométrica del almacenamiento de los datos de las bandas 1 y 2 se expresa en 32 bit y el dominio de la relación NDVI es del orden de magnitud de las milésimas, por lo que el NDVI se multiplica por 100 para obtener cifras significativas.

$$NDVI = \left[\frac{B2 - B1}{B2 + B1} \right] * 100$$

(Deering, 1978)

El NDVI es muy sensible al comportamiento inter e intra anual de la vegetación (CONAFOR, 2009), por lo que se aplica la comparación de diferentes comunidades vegetales en una serie temporal de valores mensuales analizados con las imágenes MODIS sobre los puntos de distribución de *B. alicastrum* obtenidos a través del Inventario Nacional Forestal. Con la finalidad de poder observar con claridad en la cobertura vegetal una separación entre comunidades vegetales con poca y ningún tipo de vegetación de la Península de Yucatán. Se pretende a grandes rasgos observar lo mucho o poco de verdor que la Península presenta para el año 2009, de modo que se pudiese asociar con la presencia de la especie.

El NDVI es una relación muy sensible a los cambios en la reflectancia captada por los sensores, es decir en el proceso de obtención del NDVI intervienen tomas de imágenes con diferentes ángulos de incidencia del sol-objeto-sensor. Como primer factor tenemos el efecto que genera la diferencia en el ángulo de iluminación del sol que varía hasta unos 20° dependiendo de la latitud por la época del año y hora de toma. Para ello se usan tomas ascendentes (10:00 a. m.) y descendentes (3:00 p. m.). Como segundo factor se tiene las irregularidades del terreno en las zonas de una alta disección vertical en las cual en algunas escenas, según la toma, generan diferencias en la iluminación sobre la imagen; por otro lado, los diferentes comportamientos de la vegetación dependiendo de la época del año y las especies (comportamiento de la dirección de exposición de sus hojas a lo largo del año). Para la comparación de zonas de acuerdo a condiciones ambientales se realiza la comparación por temporadas (secas, nortes) para tratar de minimizar el efecto en el NDVI del comportamiento variable.

d. Análisis estadístico.

Dado un objetivo del estudio es estimar la abundancia de la especie por medio de modelos que reflejen de mejor manera la relación entre estas variables y los valores de reflectancia de diferentes bandas de una imagen de satélite y así como las características del clima, se utilizaron modelos de Kriging con regresión para estimar la abundancia y el área basa en sitios no muestreados. Este método permite manejar tanto la dependencia espacial de las observaciones como su relación lineal con valores de reflectancia de las diferentes bandas y del clima. Los modelos de kriging con regresión de las variables de interés (abundancia y área basal de la especie) en sitios no muestreados $Z(x)$ se definen como la suma de la ordenada al origen no conocida β_0 , una tendencia no estacionaria y un error intrínseco estacionario $\epsilon(x)$, donde la tendencia es modelada como una función lineal entre la variable respuesta de interés y los valores de reflectancia en cada una de las bandas

y el clima, la dependencia espacial en el término del error es modelada por medio del análisis de variogramas de los residuales (Issaks y Srivastava, 1989; Kitanidis, 2000; Webster y Oliver, 2001).

En el análisis de regresión las variables dependientes fueron el número de especies (biomasa por unidad de área estimada). Estas variables fueron formalmente examinadas en cuanto a la normalidad y la homogeneidad de varianzas. Las variables explicativas fueron los valores de reflectancia de las diferentes bandas, además de combinaciones especiales de ellas como el NDVI (del Inglés Normalized Difference Vegetation Index) y un grupo de medidas de textura para cada banda y combinaciones de ellas. En el análisis de regresión se utilizó el software SPSS, donde las variables dependientes tomadas, fueron la abundancia, es decir, el número total de árboles por sitio muestreados, en este caso, conglomerado (cada uno con 4 sitios), y la abundancia por área basal. Estas variables fueron formalmente examinadas en cuanto a la normalidad y la homogeneidad de varianzas. Las variables explicativas fueron las derivadas del clima (temperatura máxima, mínima y media; precipitación por temporada de lluvias, norte y secas), altitud y los valores del NDVI. Cada una de estas variables fue transformada con $1/x$, $\log_{10}(x)$, $\log_{10}(x+1)$ y \sqrt{x} según fue necesario para reunir las suposiciones de linealidad (Tabachnick y Fidell, 1996). Los modelos de regresión utilizaron una selección forward para encontrar las variables independientes significativas. Una vez obtenidos los modelos de regresión, se analizó la dependencia espacial de los residuales por medio de variogramas y ambos fueron empleados usando kriging con regresión para crear mapas de la distribución espacial de la abundancia y abundancia por área basal de la especie en toda la península de Yucatán tal como Issaks y Srivastava (1989) y, Webster y Oliver (2001) sugieren. Se correlacionaron los sitios ya conocidos de la especie con el conjunto de factores ambientales, especialmente climáticos y con el espacio para la predicción de la distribución espacial, pues los modelos que representan una auto correlación espacial, mejoran la precisión de las estimaciones en todos los casos (Hernández-Stefanoni *et al*, 2009).

4. RESULTADOS.

De los tres Estados de la Península, se evidencia que en Quintana Roo es dónde mejor conservados se encuentran los geocomplejos naturales, registrándose en Yucatán la mayor transformación. De los 21,772 conglomerados presentes para la Península, sólo 3,279 conglomerados demostraron la presencia de individuos, de los cuales se tomó tan sólo 3,180 conglomerados, con una representación de 4,050 individuos para *B. alicastrum*. Recordando, que se consideraron tan sólo aquellos con un diámetro mayor o igual de 7.5 cm. de diámetro registrados en el Inventario Nacional Forestal.

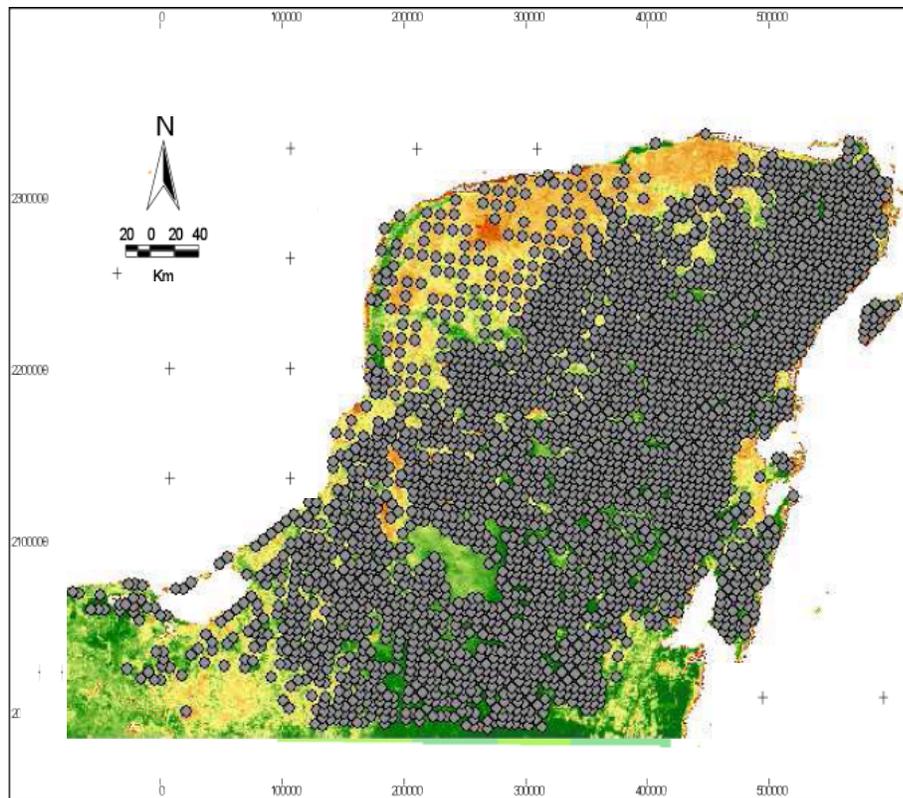


Figura 9. Distribución de los 3,180 conglomerados en la Península de Yucatán.

La precipitación para la Península durante el año 2009 con un mínimo y máximo fue de 73.8 mm y 1022.20 mm para la temporada de nortes, 498.66 mm y 2182.33 mm para lluvias y 24.5 mm y 252 mm para secas.

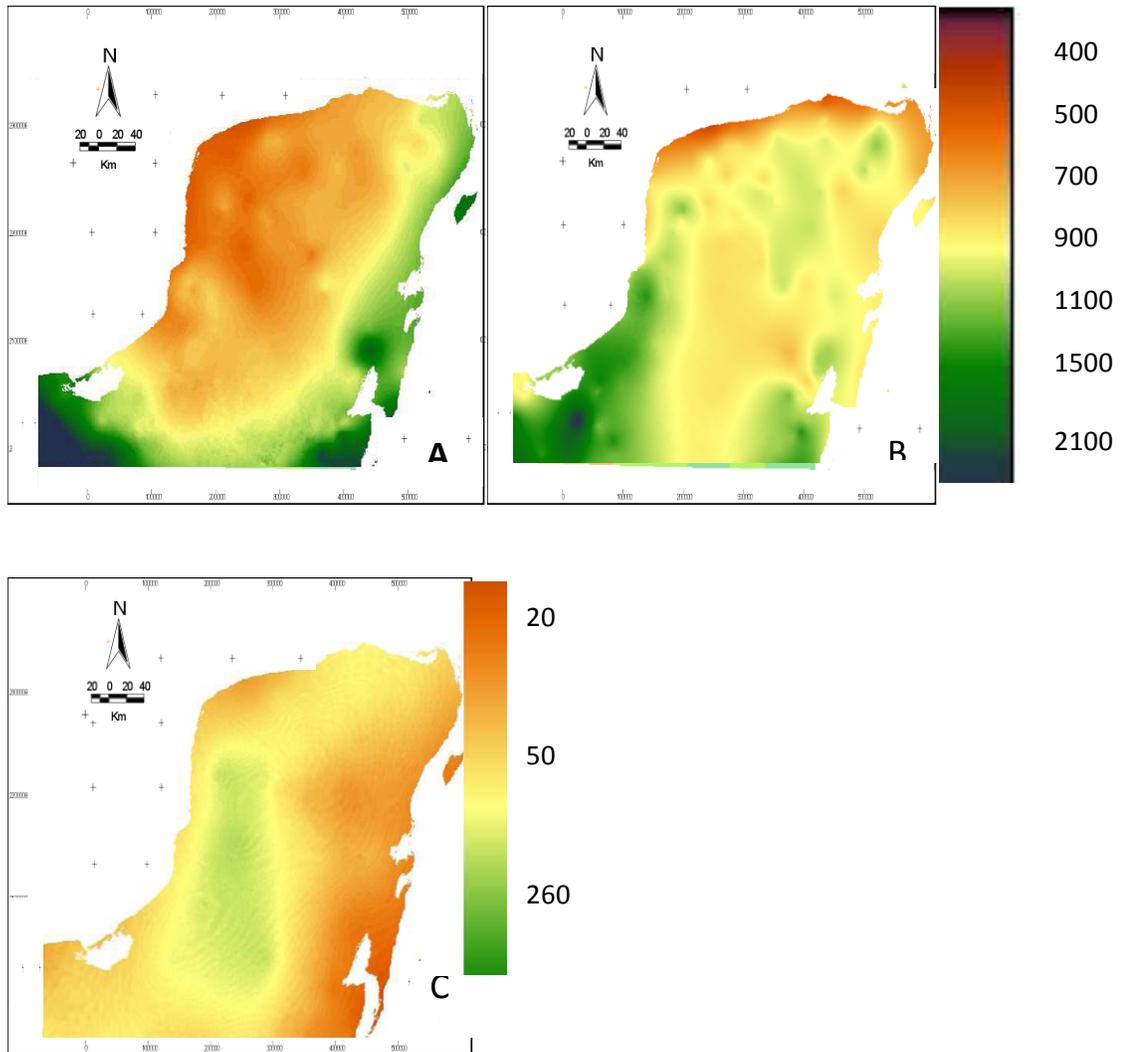


Figura 10. Mapas de precipitación de la península por temporadas norte (A), lluvias (B), secas (C).

Con un valor min/max de la temperatura máxima para nortes entre 26.9 a 30.8° C, de 30.44 a 34.36° C para lluvias, y de 30.7 a 36.03° C para secas.

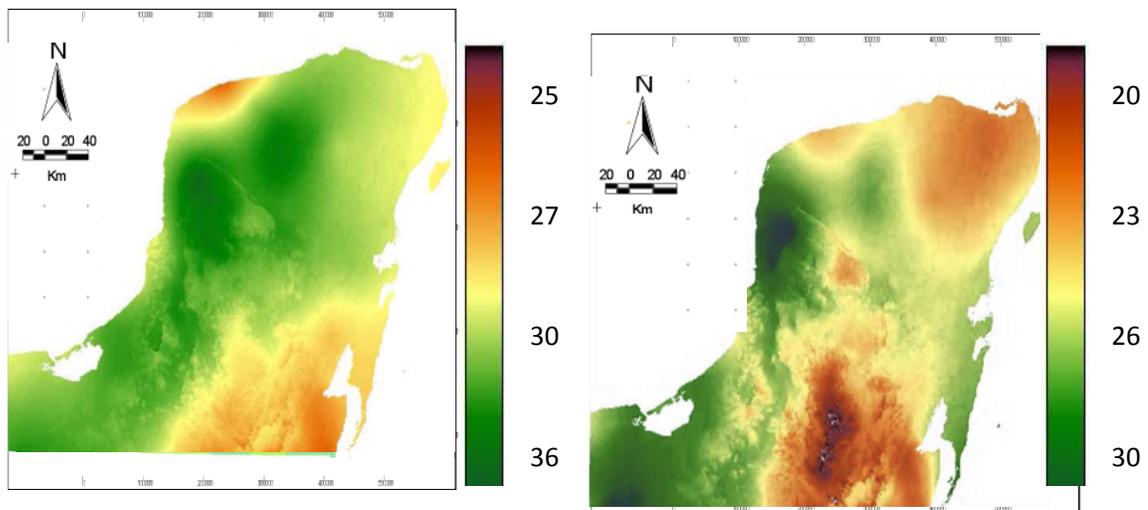


Figura 11. Figuras a y b de izquierda a derecha. a) Mapa de temperaturas máximas de la península; b) Mapa de temperaturas medias de la Península.

Con temperaturas medias máximas y mínimas de 21.52 a 25.1° C, de 26.86 a 29.68° C y de 25.46 a 28.66° C para las temporadas nortes, lluvias y secas.

Y presencia de valores mínimos y máximos para las temperaturas mínimas de 15.65 a 21.97° C, 20.42 a 25.76 ° C y de 19.16 a 23.5° C para la temporada de nortes, lluvias y secas.

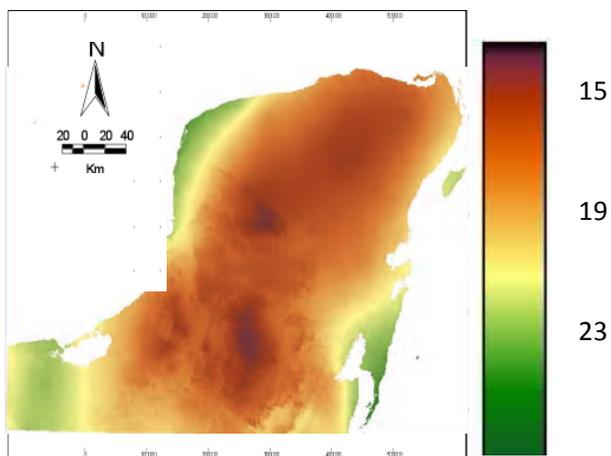


Figura 12. Mapa de temperaturas mínimas de la Península.

Los valores (mínimo/máximo) obtenidos de NDVI por temporada fueron de 0.3553/0.9775, 0.2966/0.9955 y 0.2298/0.9887 correspondientes a la media para

nortes, lluvias y secas; y 0.1584/0.4822, 0.0066/0.1889 y 0.0024/0.1930 para la media de sus valores de desviación estándar de NDVI de cada temporada respectivamente.

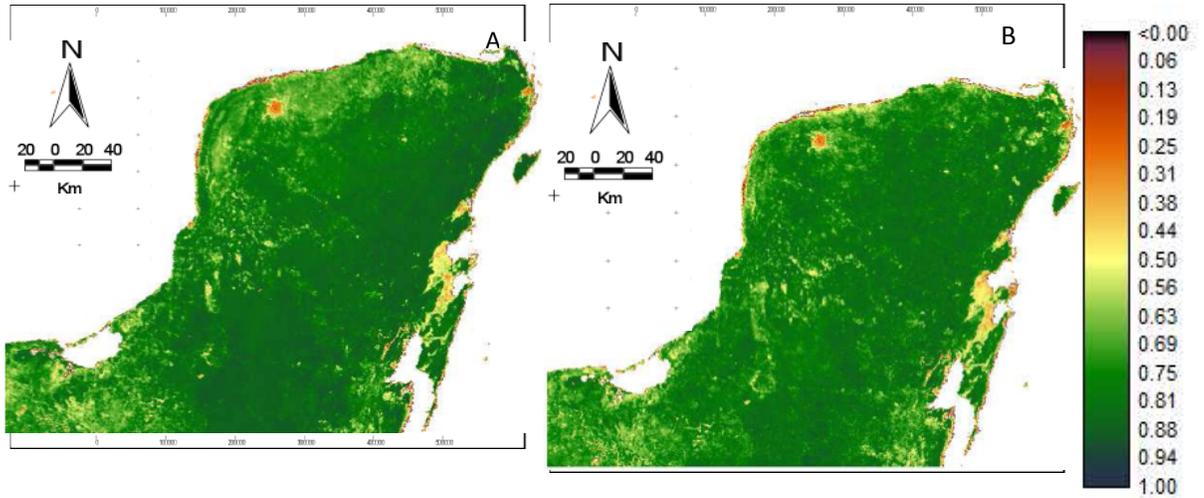


Figura 13. Mapa correspondiente a los valores del NDVI de nortes (A) y lluvias (B) para la Península.

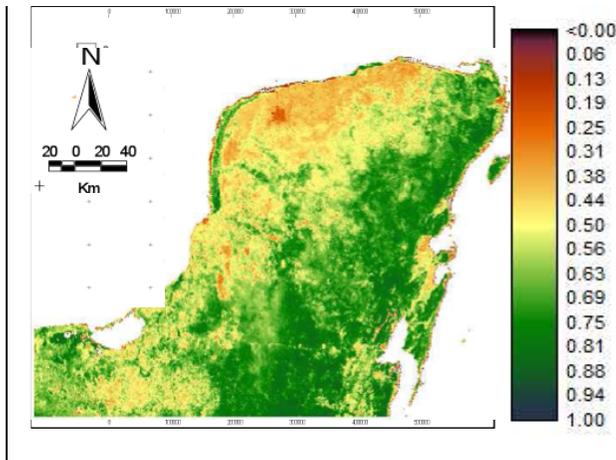


Figura 14. Mapa correspondiente a los valores del NDVI de la temporada de secas para la Península.

Se encontró una correlación débilmente estrecha y muy poco significativa entre la distribución de las asociaciones vegetales de los 3180 conglomerados de la zona mencionada y las variables ambientales, así como con los valores del NDVI, de lo que se esperaba.

El análisis estadístico arrojó que las variables de altitud, precipitación, temperatura, bioclim y NDVI, no explican más del 1% para la abundancia (**R**, 0.108; **R**², 0.012) y un 2% para su abundancia por área basal (**R**, 0.154; **R**², 0.024). Entre las variables explicativas del modelo con respecto a la abundancia, pudimos observar la temperatura media del mes Marzo con un valor del coeficiente no estandarizado de 1.347; -0.961 para bioclim 10 que corresponde a la temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C), y 0.025 para bioclim 14 correspondiente a la precipitación del periodo más seco (mm). En cuanto al modelo para el área basal, las variables incluidas fueron la temperatura máxima del mes diciembre con un valor de -13.571, la altitud con 0.213, la temperatura mínima de Agosto con 109.035, la temperatura máxima de Julio con -51.125, la temperatura mínima de Diciembre con -155.891; valores de 0.483 para bioclim 13 respecto a la precipitación del periodo más lluvioso (mm.), 152.788 para la temperatura media de Diciembre, y -66.860 para el NDVI de Junio. Estos valores sirvieron para calcular los mapas temáticos junto con los mapas de los residuales, de los cuales se obtuvo el mapa final para abundancia y abundancia por área basal.

Cuadro 5. Tabla comparativa de varianzas (Anova) para la abundancia (A) y la abundancia por área basal (AB).

variable	Modelo	R	R ²	sum of square	df	Mean square	F	sig	predictors	
A	3	0.108	0.012	regression	582,942	3	194,314	12,379	0.000 c	Tmean3, bio10, bio14
				residual	49854,586	3176	15,697			
				total	50437,528	3179				
AB	3	0.154	0.024	regression	2283277,027	8	285409,628	9,662	0.000 h	Tmax12, alt, Tmin8, Tmax7, Tmin12, bio12, NDVI6
				residual	9.367 E7	3171	29538,948			
				total	9.595 E7	3179				

Se obtuvieron valores de entre un 0.8 a 0.11% para la abundancia tomada por categorías diamétricas (0.9, 0.096, 0.107 del valor de **R** y 0.008, 0.009, 0.011 de **R**² para D7, D20, y D40 respectivamente). Al ser muy poco significativo los valores de la

abundancia por categorías diamétricas, se consideró en omitir de la tabla y por consiguiente de los análisis posteriores.

Cuadro 6. Tabla de las variables incluidas en el modelo para la abundancia (A).

Modelo (A)	Coeficiente no estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Constante	-6.997	5.368		-1.303	0.193
Tmean3	1.347	0.277	0.203	4.870	0.000
Bio10	-0.961	0.363	-0.120	-2.645	0.008
Bio14	0.025	0.012	0.045	2.036	0.042

Cuadro 7. Tabla de las variables incluidas en el modelo para la abundancia por área basal (AB).

Modelo (AB)	Coeficiente no estandarizado		Coeficiente estandarizado	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
Constante	-1150.085	339.744		-3.385	0.001
Tmax12	-13.571	33.004	-0.055	-0.411	0.681
Alt	0.213	.088	0.090	2.417	0.016
Tmin8	109.035	18.483	0.394	5.899	0.000
Tmax7	-51.125	8.943	-0.242	-5.717	0.000
Tmin12	-155.891	38.983	-0.835	-3.999	0.000
Bio13	0.483	0.164	0.070	2.937	0.003
Tmean12	152.788	67.380	0.468	2.268	0.023
NDVI6	-66.860	32.393	-0.039	-2.064	0.039

La variación espacial encontrada en los modelos de variogramas para la abundancia y el área basal indica que existe una estructura espacial (Cuadro 12). Con el GS + Geostatistic, la R^2 de los variogramas fueron de 0.879 y 0.952 para abundancia y área basal.

Cuadro 8. Parámetros del semi variograma para la abundancia y abundancia por área basal.

Variable	Modelo	Nugget variance (Co)	Variación total	Rango	Variación estructural relativa (%)	r^2
A	Gauss	13.540	27.090	808867.727	0.5	0.879
AB	Gauss	24600.000	80300.000	1125833.024	0.694	0.952

Con la regresión lineal múltiple, La R^2 de los valores predichos observados 0.012 y 0.024 contra los predichos esperados para abundancia fue de 0.23 y para área basal de 0.194.

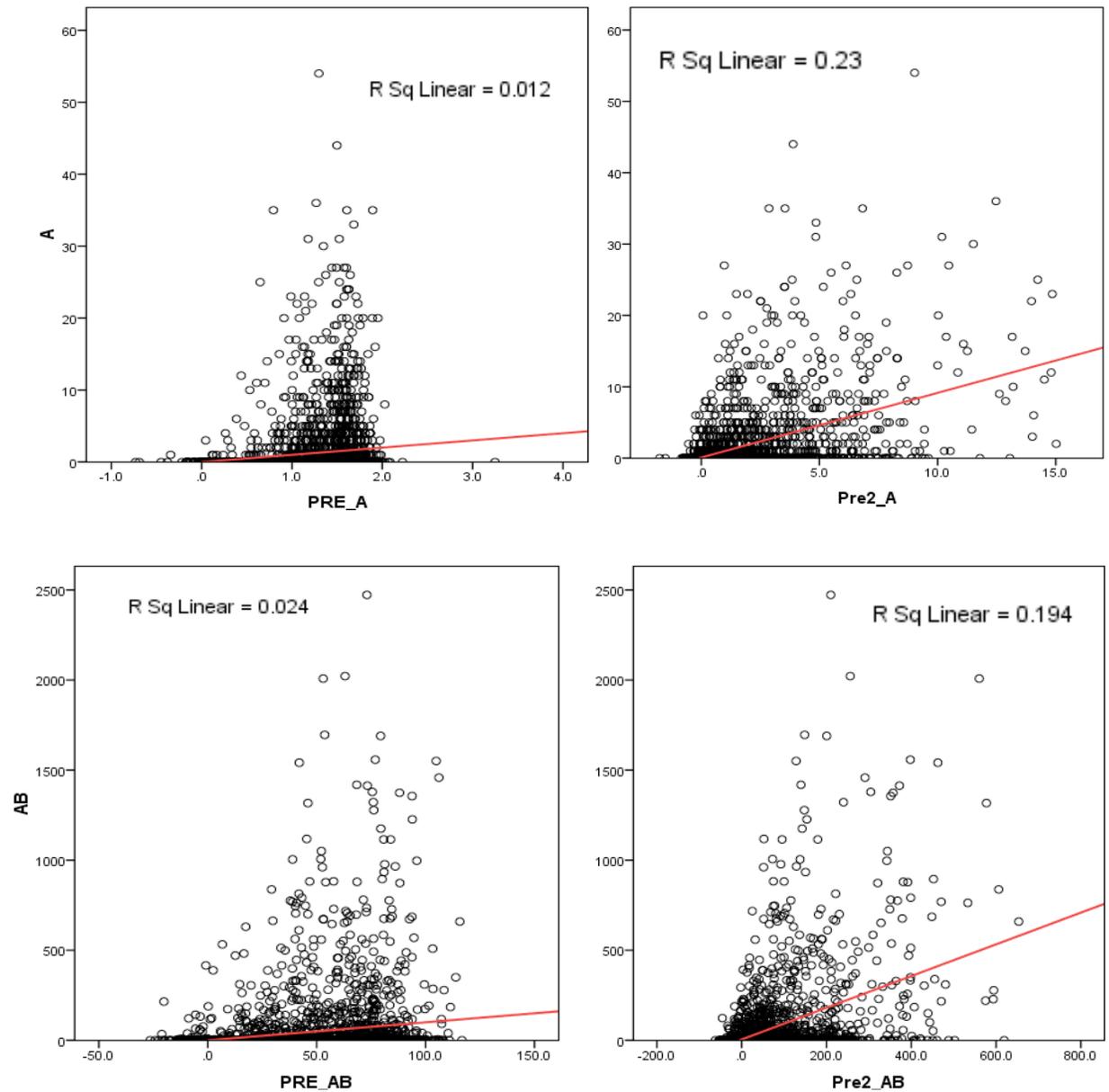


Tabla 1. Regresión lineal de abundancia(A) y área basal (AB) contra predichos observados (PRE) y esperados (Pre2).

Con la validación cruzada se evidenció que el modelo Gaussiano fue el que mejor se ajustó, pudiendo comprobarse que el método estadístico empleado tiene importante significación desde el punto de vista práctico.

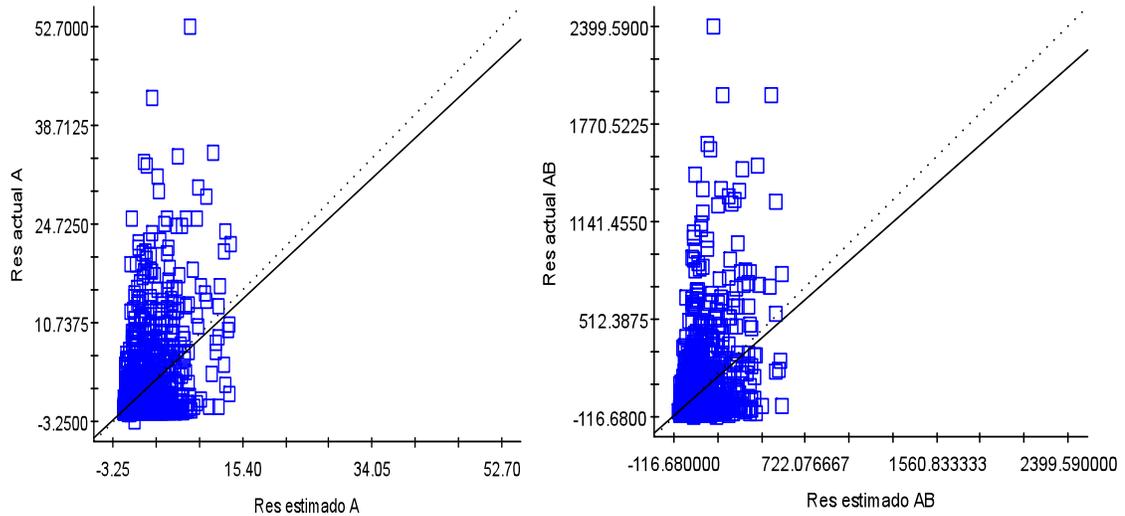


Tabla 2. Validación cruzada de los predichos observados (Res actual) contra los esperados (Res estimado).

La abundancia y la abundancia por área basal de la especie no presume de una relación lineal tan significativa respecto a las variables climáticas que presenta la Península de como se había esperado; sin embargo la correlación con el espacio mejoró los valores de la R^2 para ambos casos (abundancia y abundancia por área basal).

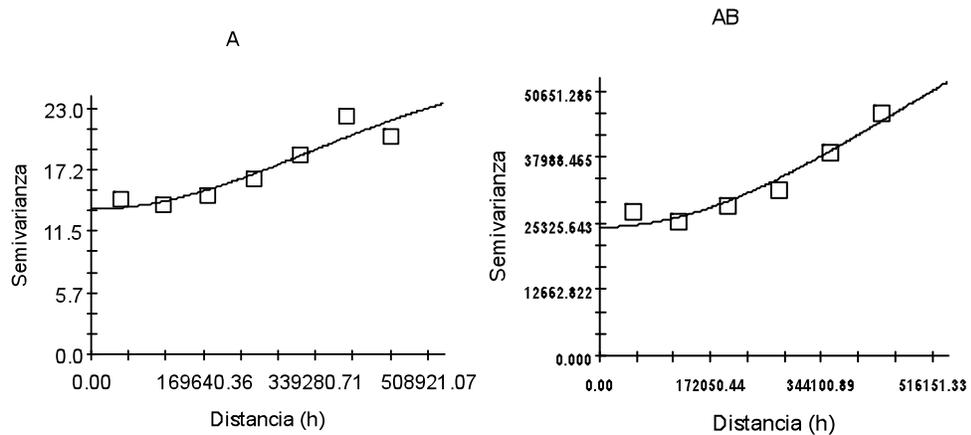


Tabla 3. Correlación de abundancia(A) y área basal (AB) con el espacio.

Con la regresión de Kriging universal los valores de la R^2 para abundancia fue de 0.23 y 0.194 para el área basal; de este modo se pudo observar que las variables ambientales en relación a la abundancia y el área basal, sólo representan el 1 y 2% de la predicción, y es el espacio quién influye en un 23 y 19.4% respectivamente.

De los mapas obtenidos a través de la regresión con Kriging, se crearon los mapas finales para la abundancia y el área basal, representando en áreas con color según categorías el número de individuos localizados en cada color.

Para el mapa, las categorías quedaron de la siguiente manera: se enumeraron del 1 al 5 las categorías para ambos casos (abundancia y área basal). En el caso de la abundancia, la categoría 1 representa el área donde no hubo registro de individuos; la categoría 2 representa presencia de hasta 5 individuos; en la categoría 3 representa la presencia de hasta 10 individuos; en la categoría 4 representa la presencia de hasta 15 individuos; por último, en la categoría 5 con presencia de hasta 100.

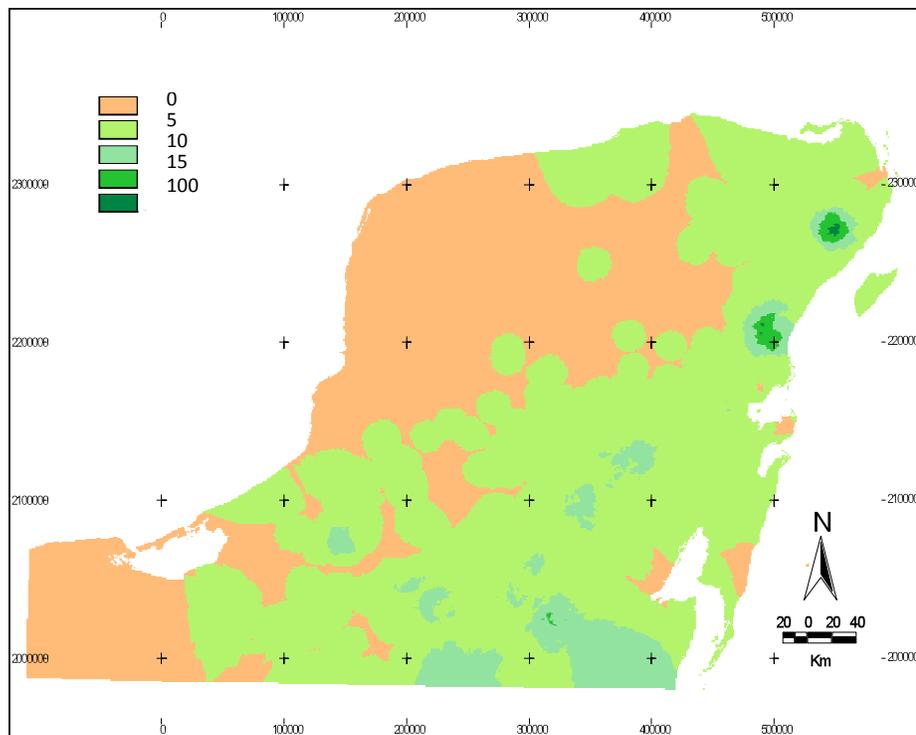


Figura 15. Distribución de la abundancia de *Brosimum alicastrum*.

Para el mapa de la abundancia de la especie por área basal, la clasificación de las categorías quedó de la siguiente manera: (1) presencia de hasta 1 individuo; (2) presencia de hasta 50; (3) con presencia de 51 a 75 individuos; (4) con presencia de 76 a 100 individuos; (5) con presencia de más de 100 individuos.

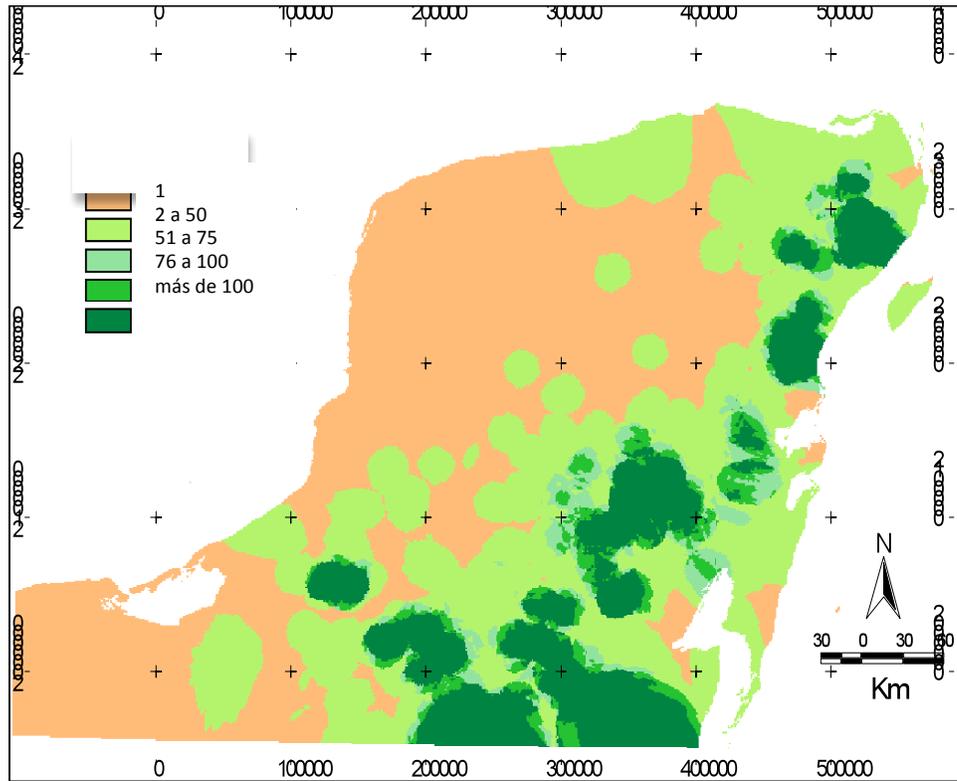


Figura 16. Distribución de la abundancia por área basal de *Brosimum alicastrum*.

5. DISCUSIÓN.

Hamsson *et al.* (1995) y Chiappy *et al.* (2000) determinaron que la presencia de *Brosimum alicastrum* en la Península está influenciada por el ambiente que presenta la región y se encuentra significativamente asociada a la zonificación, debido que las especies suelen presentar patrones de distribución discontinuos, producidos por la variación espacial de las condiciones ambientales que determinan la calidad de sus hábitats, las interacciones intra e inter específicamente de los individuos así como a las respuestas de los factores ambientales en que se encuentran, principalmente por la propia actividad humana que desarrolla históricamente en este territorio. Los resultados de este estudio mostraron que las asociaciones lineales entre las variables estudiadas (abundancia y abundancia por área basal) y las variables explicativas (clima, altitud, NDVI) son más bajas de lo que se esperaba, representando tan sólo un 1 y 2% de asociación, siendo muy poco relevantes para explicar la distribución espacial de la abundancia y abundancia por área basal del Ramón, por tanto la distribución espacial de la especie en la Península de Yucatán quizá está dada por la zonificación, manejo y uso de suelo como explicaban éstos autores.

En Yucatán, junio es uno de los meses en los que más llueve, ya que los frentes fríos se conjugan con ondas tropicales o inestabilidades atmosféricas. Durante la presente década, el índice de lluvia acumulada para este mes supera los 100 milímetros según reportes meteorológicos. Resultados que explicarían los descritos por Martínez y Galindo-Leal (2002); estos resultados de la precipitación concuerdan en que la presencia de *B. alicastrum* junto con 2 especies más, se encuentran relacionadas con el suelo y su ubicación, así como la presencia de mayor influencia de los vientos, mayor exposición solar, y extensiones considerables; por lo que la especie se encuentra adaptada al suelo (derivados de carbonatos, como son las calizas, y sulfatos de calcio, como el yeso).

El 98% de la asociación restante no es explicado de esta manera como el ambiente describe; quizá el sistema se encuentra influenciado por elementos naturales condicionados por el hombre, modificando la composición natural de la zona; tal composición de la cual sea posible identificar los factores críticos en el mantenimiento de la abundancia especie, donde la cobertura vegetal natural ha sido perturbada tal como Forman y Godron en 1986 propusieron.

El índice de densidad de área, expresa el número de sitios por tipo de cobertura cada n metros. Altas densidades se esperan en áreas intervenidas y fragmentadas. Cuando la densidad es muy baja, es difícil valorar la distribución y abundancia de las especies, por ello hay que recurrir a la extrapolación espacial, para no tener que ampliar el área y los puntos muestreados. La extrapolación espacial es logísticamente más fácil y mejora la precisión de la auto-correlación de las estimaciones con el espacio y los datos obtenidos en campo (Hernández-Stefanoni et al., 2009). En este caso solo el 1 y 2 % de la abundancia y área basal es explicado por las variables climáticas de la península, mejorándose en un 23 y 19.4% al ser interpretado por el espacio; lo que concuerda con lo antes mencionado.

Los valores resultantes de la península, en el caso de la altitud, clima, variaciones de precipitación, temperatura y por estaciones, resultan demasiado pequeñas aparentemente según el análisis, sin embargo, siguen siendo importantes desde el punto de vista de su influencia en el medio físico, por lo que repercuten de manera decisiva sobre la vegetación. La distribución natural del Ramón en la Península está en las Selvas medianas, e incluso en las Subperennifolias, Precisamente esto se refleja en los resultados. De hecho en la región del Kiuc que es Selva mediana seca casi no hay Ramón.

Para poder explicar la distribución de la especie, también debe ser entendida en términos de su fisiología, como respuesta inicial al clima, suelo, manejo y su gran

capacidad de adaptación que le favorece su presencia en la Península. Meiners *et al.* (2009) describen que el Ramón no sólo protege el suelo, los cuerpos de agua y la biodiversidad, también es una especie promisoría para la restauración; las plántulas poseen características fisiológicas que le permiten establecerse en Selvas secundarias como acahuales o Selvas perturbadas, zonas donde la apertura del dosel y las condiciones de luz son dinámicas. El efecto de la temperatura, clima y precipitación de la Península sobre esta especie demuestran esta gran capacidad de tolerancia tal como demuestran los resultados; por un lado encontraríamos la influencia del clima sobre la hoja, del cual no solo afectaría el área de la hoja, sino también en el crecimiento de la planta. La temperatura ejercería un efecto fuerte por su influencia sobre la extensión de la hoja y la iniciación de ella, ambos del cual dependerían de un grado óptimo de calor dado por la irradiación solar. El agua influenciaría sobre la extensión de sus hojas, de modo que la expansión de las células de la hoja dependería del gradiente de potencial hídrico, manteniendo una relación entre el clima y el agua en su crecimiento. Esta especie durante los primeros años de vida requiere una cantidad de agua para su sobrevivencia como bien sabemos, es decir, si en la Península en la temporada de secas no consigue la cantidad necesaria de agua, o sombra, ¿Cómo se explicaría su presencia?. El Ramón puede mantenerse por largos periodos en baja luminosidad y carencia de agua con crecimiento lento coexistiendo con otras especies y acelerar su desarrollo cuando se abre un claro en el dosel (Meiners *et al.*, 2009). Tal como los resultados arrojaron, existe la presencia del Ramón en la Península aún en sitios donde el suelo es poco favorecedor sin embargo afirmamos que hay; se concuerda con Vega *et al.*, (2003) en donde sus estudios describieron que la densidad de esta especie tiene una estrecha relación con la precipitación, clima y su periodo de crecimiento, sin embargo presenta una relación más alta en cuanto a su densidad con el crecimiento de la especie y las condiciones óptimas para su crecimiento.

Se concuerda con otros autores, que entre los resultados obtenidos en la caracterización de la vegetación de la península de Yucatán se aprecia que,

independientemente de la diversidad natural que poseen, presentan una considerable dispersión originada mayormente por actividades antropogénicas, tales como la agricultura de temporal, de riego y los pastizales cultivados, generalmente relacionadas con la vegetación secundaria, resultante de ciertas prácticas forestales, tanto de índole agroforestal como doméstica. Los cambios repentinos en el clima o eventos extremos, pueden alterar la composición y estructura de las comunidades. El manejo humano sobre los ecosistemas genera problemas como la modificación en los ciclos hídricos y cambios regionales de los regímenes de temperatura y precipitación, ocasionando su reducción, incluso afectando su capacidad para recuperarse de tales perturbaciones (Aguilar *et al.*, 2000; Parmesan *et al.*, 2000; Kleidon y Money, 2000; Gian-Reto *et al.*, 2002; Lorente *et al.*, 2004; Duarte *et al.*, 2006). Muchas extensiones de Selva donde antes abundaba el Ramón han sido sustituidas por pastizales para el pastoreo, sin tomar en cuenta que representa un importante recurso para forraje durante la sequía. Algunas comunidades rurales mantienen las Selvas para que el ganado pastoree libremente en ellas, actividad que acaba con las semillas y plántulas que son fuente de regeneración de la especie (Meiners *et al.*, 2009).

Tampoco se descarta la incidencia de otras actividades como Vitousek *et al.* (1997) concluyeron, tales como el turismo, la urbanización y/o ampliación de carreteras de algunas áreas, que trae consigo el proceso de colonización, así como la promoción del desarrollo de infraestructura. Por tal, las Selvas de la Península de Yucatán son el resultado de la manipulación humana y fenómenos naturales; eventos tales como huracanes e incendios y/o sequías que afectan áreas de vegetación ocasionando cambios en las tendencias fenológicas, provocando graves problemas de desincronización biológica en plantas, anfibios y numerosas aves relacionados con la tendencia a la disminución del recurso agua (Gian-Reto *et al.*, 2002; González-Marin *et al.*, 2008).

6. CONCLUSIÓN.

La abundancia de *Brosimum alicastrum* mostró una débil correlación con las variables ambientales, sin embargo la regresión mejoró los valores. La regresión mejora si se toma en cuenta la dependencia espacial.

La caracterización de la Península de Yucatán como sistema metodológico, consistió en la interpretación de los sitios de presencia de *Brosimum alicastrum* mediante imágenes satelitales y su ubicación real obtenida en campo, a partir de la aplicación de un conjunto de indicadores para la heterogeneidad del paisaje como expresión cuantitativa de las variaciones ambientales y de los patrones espaciales de la cobertura vegetal. Las variables climáticas y las series temporales de NDVI con alta resolución temporal (MODIS) permitieron observar la tendencia temporal de productividad determinada por el clima en relación con la abundancia y la abundancia por área basal de la especie, demarcando teóricamente los límites probables de su distribución. La forma y localización relativa de los individuos por conglomerado, hizo posible la identificación de los factores críticos en el mantenimiento de la abundancia de la especie. La correlación con el espacio proporcionó una visión amplia de las características espaciales de los patrones de cobertura vegetal.

El método de interpolación combinó una tendencia de datos y un componente de variación aleatoria obtenido a través de la autorrelación espacial de los residuales entre las estimaciones de los modelos de regresión sobre el número total de árboles por sitio a partir de los valores espectrales obtenidos, permitiendo manejar la dependencia espacial de las observaciones como su relación lineal con los valores de reflectancia de las diferentes bandas usadas. Esto permitió la estimación de la abundancia de la especie por medio del modelo Gaussiano, puesto que reflejó de mejor manera la relación entre la abundancia de *Brosimum alicastrum* y los valores

de reflectancia de las diferentes bandas de una imagen de satélite y combinaciones de ellas, tomando incluso en consideración aquellos individuos en sitios no muestreados.

La variación en los regímenes climáticos influye sobre la distribución en la mayor parte de las especies, aumentando o disminuyendo su rango de distribución, debido a que éstas presentan un rango térmico de humedad y de radiación respecto a su fenología y fisiología. Los resultados de la interpretación del análisis, muestran que la presencia y/o ausencia de la especie se establecen en su minoría por el clima, la precipitación, la altitud y la temperatura de la región; Por tanto aquellos factores que determinan mayormente, serían actividades externas al ambiente que influyan sobre la fisiología de la planta y crecimiento, implicando capacidades de dispersión e interacción con otras especies adyacentes ó modificaciones en la accesibilidad de agua. Recordemos que el agua juega un papel fundamental para la productividad de los ecosistemas.

El estado de conservación actual de *Brosimum alicastrum* es el resultado a la falta de accesibilidad de ciertas zonas forestales, de factores limitantes como el manejo y uso de suelo, entre otros, a pesar de las fuertes influencias humanas y cambios de composición de vegetación a lo largo de la historia. También habría de hacer mención de las reservas que alberga la península; de aquellas extensiones de Selva que convergen esquemas de conservación regional que permiten su presencia natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Bustillos, Flores-Guido Salvador Flores, Gómez-Pompa Arturo. 1998. Etnoflora yucatanense. Uso y manejo de plantas forrajeras para cría de animales dentro del solar en una comunidad maya en Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Fascículo 14.
- Aguilar C., Martínez E., Arriaga L. 2000. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México?. *Biodiversitas*. 30: 7-11 pp.
- Alcaraz-Segura D., Baldi G., Duarte P., Garbulsky M. F. 2008. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*. 17(3): 108-117 pp.
- Arce R., García A. 1997. La agroforestería social: un nexo entre la conservación y el desarrollo sostenible. *Agroforestería en Las Américas*. 4 (16) : 15-21.
- Arellano-Rodríguez J. Alberto, Flores-Guido José Salvador, Tun-Garrido Juan, Cruz-Bojórquez María Mercedes. 2003. Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán-sostenibilidad maya. Fascículo 20.
- Aronson J., Floret C., Floc'h Le, Ovalle C., Pontainer R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid land. I. A view from the south. *Rest. Ecol.* 8-17 pp.
- Arriaga L., Espinosa J. M., Aguilar C., Martínez E., Gómez L., Loa E., Larson J. 2000. Regiones prioritarias terrestres de México. CONABIO. México
- Ashton P. M. S., Garnage S., Gunatilleke I. A. U. N., Gunatilleke C. V. S. 1997. Restoration of a Sri Lankan rainforest: using Caribbean pine *Pinus caribaea* as a nurse for establishing late successional tree species. *Journal Appl. Ecol.* 34: 915-925 pp.

- Ayala A., Sandoval S. M. 1995. Establecimiento y producción de forraje de Ramón (*Brosimum alicastrum Swartz*) en plantaciones de altas densidades en el norte de Yucatán, México. *Agroforest. Am.* 2: 10-16 pp.
- Bainbridge A., Fidelibus M., MacAller R. 1995. Techniques for plant establishment in arid ecosystems. *Rest. Manage. Notes.* 12: 190-197 pp.
- Bautista F., Batllori-Sampedro E., Palacio G., Ortiz-Pérez M. y Castillo-González M. 2005. Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán, p. 33- 58. *En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales.* Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. 282 p.
- Bautista-Zúñiga Francisco, Delfín-González Hugo, Palacio-Prieto José Luis, Delgado-Carranza María del Carmen. 2004. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. 172- 175 pp.
- Bautista-Zúñiga Francisco, Gerardo-Palacio Álvaro. 2005. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán. Instituto Nacional de Ecología. 282 p.
- Beddows Patricia, Blanchon Paul, Escobar Elva, Torres-Talamante Olmo. 2002. Los cenotes de la Península de Yucatán, en G. de La Lanza y J. L. García Calderón. 2002. *Lagos y presas de México.*
- Bocco Gerardo, Sánchez Roberto, Riemana Hugo. 1993. Evaluación del impacto de las inundaciones en Tijuana (Enero de 1993). Uso integrado de percepción remota y sistemas de información geográfica. *Frontera Norte.* 5(10): 53-83.
- Burkey T. V. 1994. Tropical tree species diversity: a test of the Janzen-Conell model. *Oecologia.* 97: 533- 540 pp.
- Carnevali G., Ramírez I. G., González-Iturbide J. A. 2003. Flora y Vegetación de la Península de Yucatán. *En: Colunga-García Marín P., Larqué-Saavedra A. Naturaleza y Sociedad en el Área Maya.* Academia Mexicana de Ciencias- CICY.

- Chiappy C., Gama L., Giddings L. 1999. Evaluation of the landscape conservation of the Yucatan peninsula using a GIS. 5th world Congress of landscape ecology.
- Chiappy-Jhones Carlos, Gama Lilly, Giddings Lorrain, Rico-Gray Víctor, Velázquez Alejandro. 2000. Caracterización de los paisajes terrestres actuales de la Península de Yucatán. *Investigaciones Geográficas*. 42: 28-39 pp.
- Chiappy-Jhones C., Gama Lily. 2004. Modificaciones y fragmentación de los geocomplejos tropicales de la Península de Yucatán. *Universidad y Ciencia*. 1: 17-25.
- Colegio de la Frontera sur Unidad Campeche. 2012. Estrategia Regional de la Península de Yucatán para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal. 353 p.
- Colunga-García Patricia, Larqué saavedra Alfonso, AMC, CICY. 2003. Naturaleza y sociedad en el área Maya. Pasado, presente y futuro. 159-173 pp.
- CONABIO. 1972. *Brosimum alicastrum* Sw. subsp. *alicastrum*. *Flora Neotrópica*. 7: 170-171 pp. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/47-morac1m.pdf
- CONABIO. 2012. Imágenes MODIS (Actualizado en 2011). Disponible en: ftp://200.12.166.180/BIN_level1b/2009/0901/
- [Acceso 12 de enero de 2012].
- CONAF. 1983. Proyecto Teledetección para manejo forestal dinámico TEMFORD. Informe final. CONAF. Chile. 76 p.
- CONAFOR, SEMARNAT, INEGI, INE, INIFAP. 2004. Documento estratégico rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos. 26 p.
- CONAFOR, SEMARNAT. 2009. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo.
- CONAFOR. Sistema Nacional de Información Forestal. Monitoreo Forestal de México. 2012. Especificaciones técnicas para el monitoreo de la cobertura de la

vegetación basado en imágenes de satélite MODIS (Actualizado el 12 de enero de 2012). Disponible en:
[http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/?option=com_content&task=view&id=2
&Itemid=3/index.php](http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3/index.php)

[Acceso 12 de enero de 2012].

D'Antonio C. L., Meyerson L. A. 2002. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Rest. Ecol.* 10: 703- 713 pp.

Duarte M., Alonso S., Benito G., Dachs J., Montes C., Pardo M., Ríos A., Simó R., Valladares F. 2006. Cambio global: impacto de la actividad humana sobre la tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Duch J. G. 1988. La conformación territorial del Estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. 427 p.

Dupuy Juan Manuel, Hernández-Stefanoni José Luis; Hernández-Juárez Rodrigo, Tetetia-Rangel Erika, López-Martínez Jorge Omar, Leyequien-Abarca Eurídice, Tun-Dzul Fernando J., May-Pat Filogonio. 2011. Patterns and correlates of Tropical dry forest structure and composition in a highly replicated chronosequence in Yucatan, Mexico. *Biotropica*. 1-11 pp.

Fischer J., Linder Mayer D., Nix H., Stein J., Stein J. A. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography*. 28: 293-304 pp.

F. I. Woodward. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press. 62- 84 pp.

Flores-Guido José Salvador, Bautista Francisco. 2005. Inventario de plantas forrajeras utilizadas por los mayas en los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. 209- 219 pp.

Flores-Guido José Salvador, Espejel-Carvajal Ileana. 1994. Etnoflora yucatanense. Tipo de vegetación de la península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán-sostenibilidad maya. Fascículo 3.

- Forman R. T. T., Gordon M. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons. Canada.
- Forman Richard T. T. 1995. Land mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge, University Press.
- García Enriqueta. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). UNAM instituto de geografía. Segunda edición. 246 p.
- Gian-Reto W., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T., Fromentin M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 339-395 pp.
- Gillespie A. R., Bocanegra-Ferguson D. M., Jiménez-Osorio J. J. 2004. The propagation of Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw. Moraceae) in Mayan homegarden of the Yucatan peninsula of Mexico. *New For.* 27: 25-38 pp.
- Godínez-Ibarra O., López-Mata L. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestra de selva mediana subperennifolia. *An Inst. Biol. UNAM, Ser. Bot.* 73: 283- 314 pp.
- Gómez-Díaz Jesús David, Monterroso-Rivas Alejandro Ismael, Tinoco Rueda Juan Angel, Toledo Medrano María Lorenza. 2009. Generación de escenarios de cambio climático a escala regional, al 2030 y 2050; evaluación de la vulnerabilidad y opciones de adaptación de los asentamientos humanos, la biodiversidad y los sectores ganadero, forestal y pesquero, ante los impactos de la variabilidad y el cambio climático; y fomento de capacidades y asistencia técnica a especialistas estatales que elaboran programas estatales de cambio climático. Cuarta comunicación nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático sector forestal.
- González-Espinosa Mario, Ramírez-Marcial Neptalí, Ruiz-Montoya Lorena. 2005. Diversidad biológica en Chiapas. Editorial Plaza y Valdez. Primera edición. 491 p.
- González-Marín Rosa María, Gallina Sonia, Mandujano Salvador, Weber Manuel. 2008. Densidad y distribución de ungulados silvestres en la Reserva Ecológica El Edén, Quintana Roo, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 24(1): 73- 93 pp.

- Hamssom L, Fahrig L., Merriam G., 1995. Mosaic landscapes and ecological processes. Chapman & Hall.
- Harvey C. 2001. The conservation of biodiversity in silvopastoral systems. In: International Symposium on Silvopastoral Systems. CATIE. Costa Rica.
- Hernández-Stefanoni José Luis, Ponce-Hernández Raúl. 2004. Mapping the spatial distribution of plant diversity indices using multi-spectral satellite image classification and field measurements. *Biodiversity and Conservation*. 13: 2599-2621 pp.
- Hernández-Stefanoni José Luis. 2005. Relationship between landscape patterns and species richness of trees, shrubs and vines in a tropical forest. *Plant Ecology*. 179: 53-55 pp.
- Hernández-Stefanoni José Luis, Ponce-Hernández R. 2006. Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: Comparison of spatial interpolation methods. (En press, DO 00020885). Environmental Monitoring and Assessment.
- Hernández-Stefanoni José Luis, Dupuy Juan Manuel. 2007. Mapping species density of trees, shrubs and vines in a tropical forest, using field measurements, satellite multispectral imagery and spatial interpolation. *Biodiversidad y Conservación*. 16: 3817- 3833 pp.
- Hernández-Stefanoni José Luis, Dupuy Juan Manuel, Castillo-Santiago M. Angel. 2009. Assessing species density and abundance of tropical trees from remotely sensed data and geostatistics. *Applied Vegetation Science*. 12: 398- 414 pp.
- Hernández-Stefanoni, Gallardo-Cruz J. A., Meave J. A., Dupuy Juan Manuel. 2011. Combining geostatistical models and remotely sensed data to improve tropical plant richness mapping. *Ecological Indicators*. 11 (5): 1046- 1056 pp.
- Hernández-Vargas G., Sánchez-Velázquez L. R., Aragón F. 2001. Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la Selva baja caducifolia de la Sierra de Manantlán. *Foresta Veracruzana*. 3: 9-15 pp.

- Ibarra-Manríquez G., Villaseñor José Luis; Duarte R., Meave J. 2002. Biogeographical analysis of the tree flora of the Yucatan Peninsula. *J. Biogeography*. 29:17-29 pp.
- Ibarra-Manríquez G., Ricker M., Angeles G., Sinaca C. S., Sinaca M. A. C. 1997. Useful plants of the Los Tuxtlas rain forest (Veracruz, México): conservation of their market potential. *Econ. Bot.* 51: 362- 376 pp.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2011.en: www.INEGI.org.mx
- Insunsa Juan Carlos. 2005. Clasificación de los climas de Köppen. *Ciencia*. N° 15.
- Jimenez-Osornio Juan J., Ruenes-Morales Ma. Del Rocío, Montañez-Escalante Patricia. 1999. Agrodiversidad de los solares de la península de Yucatán. *Red, Gestión de Recursos Naturales*. 14: 30-40 pp.
- Kammesheidt L., Torres A. L., Franco W., Plonczak M. 2001. History of logging and silvicultural treatments in the western Venezuelan plain forest and the prospect for sustainable forest management. *Ecol. Manage.* 148: 1-20 pp.
- Lamb David, Erskine Peter D., Parrota John A. 2005. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. American Association for the Advancement of Science.
- Lambert J. D. H., Arnason J. T. 1982. Ramón and Maya ruins: An ecological, not an economic relation. *Science*. 216: 298-299 pp.
- Larqué-Saavedra Alfonso. 2011. Propuesta de un sistema forestal productor de semillas para reducir la importación de granos. *La Crónica de Hoy*. En: http://www.cronica.com.mx/notaOpinion.php?id_notas=571026.
- Letelier T. 2003. Análisis de algoritmos de localización óptima y su implementación en sistemas de información geográfica. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en Informática. Universidad Austral de Chile. 126 p.
- Lorente I., Gamó D., Gómez J., Santos R., Flores L., Camacho A., Galindo L., Navarro J. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. *Asociación Española de Ecología Terrestre. Revista Ecosistemas*. 13(1): 103-110 pp.

- Lugo-Hubp José, Aceves-Quesada José Fernando, Espinasa-Pereña Ramón. 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. 10 (2): 143- 150 pp.
- Magaña V., Gay C. 2002. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. Gaceta Ecológica. 65: 7-23 pp.
- Martínez de Toda Santiago Saura. 2001. Influencia de la escala en la configuración del paisaje: estudio mediante un nuevo método de simulación espacial, imágenes de satélite y cartografías temáticas.
- Martínez Esteban, Galindo-Leal Carlos. 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (redalyc). 71: 7-32 pp.
- Meiners M.C., Sánchez Garduño, De Blois S. 2009. El Ramón: Fruto de nuestra cultura, raíz para la conservación. CONABIO. Biodiversitas. 87: 7-10 pp.
- Mena-Frau Carlos, Gajardo-Valenzuela John, Ormazábal-Rojas Yony, Morales-Hernández Yohana, Montecinos-Guajardo Rodrigo. 2006. Remote Sensing and GIS in Forestry: Experiences in Chile. *Ambiencia Guarapuava*. 2: 171- 185.
- Moizo-Marrubio Paul. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en ecología de paisaje. *GeoFocus*. 4: 1-24.
- Morales-Ortiz Edgar R., Herrera-Tuz Luis Gerardo. 2009. Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz.) Protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje. Programa de Germoplasma Forestal CONAFOR, Yucatán.
- Myers N., Mittermeyer R., Mittermeier C., Fonseca G., Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, 403: 853- 858.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. 2012. NASA Earth Observations.

(Actualizado el 9 de enero de 2012). Disponible en:
<http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html>

[Acceso 12 de enero de 2012].

Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Secretaría Ejecutiva para asuntos económicos y sociales. 1993. Sistemas de información geográfica en el manejo de peligros naturales. En: Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. 9-24 pp.

Orellana-Lanza Roger, Islebe G., Espadas-Manrique Celene. 2003. Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán. En: Colunga-García Marín, Larqué-Saavedra Alfonso (editores). Naturaleza y Sociedad en el Área Maya. Academia Mexicana de Ciencias-CICY. 37- 52 pp.

Orellana-Lanza Roger, Espadas-Manrique Celene, Conde-Álvarez Cecilia, Gay-García Carlos. 2010. Atlas Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, A. C., Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), FOMIX Yucatán, SEDUMA Yucatán, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Mérida, Yucatán. 111pp.

Pardo-Tejeda E., Sánchez-Muñoz C. 1980. Ramón, Capomo, Ojite, Ojoche, *Brosimum alicastrum*, recurso silvestre tropical desaprovechado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Veracruz. 29 p.

Parmesan C., Root T., Willing M. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of American Meteorological Society*. 81(3): 443-450 pp.

Pérez-Juan José, Huerta Isneira. 2002. Agroforestería y ética ambiental en la gerencia de sistemas de producción. *Revista Venezolana de Gerencia*. 17: 64-74.

Pérez-R José Demetrio, Zapata-B. Gonzalo de J., Sosa-R. Edgar E. 1995. Utilización del Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) como forraje en la alimentación de ovinos en crecimiento. *Agroforestería en las Américas, Costa Rica*. 2(7): 17-21.

- Ramírez-Albores Jorge E. 2010. Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la Depresión Central de Chiapas, México. *Revista Biología Tropical*. 58 (1): 511- 528.
- Rosete Fernando, Bocco Gerardo. 2003. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta Ecológica Red de revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. 68 : 43- 54.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera edición digital. 505 p.
- Sánchez-Aguilar Rodolfo Luis, Rebollar-Domínguez Silvia. 1999. Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar. *Madera y Bosques*. 5 (2): 3-17 pp.
- Sanchez Luis. 2005. Desarrollo de sistemas agroforestales en la zona sur del Estado Táchira. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).
- Sánchez-Velázquez L. R., Hernández-Vargas G., Carranza M., Pineda-López Ma. R., Cuevas G. R., Aragón C. F. 2002. Estructura arbórea del bosque caducifolio usado para la ganadería extensiva en el norte de la Sierra de Manantlán, México: antagonismo de usos. *Polibotánica*. 13: 25-46 pp.
- Sánchez-Velázquez L. R., Quintero-Gradilla S., Aragón-Cruz F., Pineda-López Ma. R. 2004. Nurse for *Brosimum alicastrum* reintroduction in secondary tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*. 198: 401-404.
- Sapunar P., Mansilla G., Fuentealba G. 1999. Sistema cartográfico de apoyo a la planificación y habilitación de la cosecha. En XIII Silvotecnia. 12 p.
- Saunders D. A., Hobbs R. J., Margules C. R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology*. 5: 18-32.
- Sebem Elódio. 2005. Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de un sistema metodológico para las evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias. 382 p.

- Secaira F., García C., Merman J., Sabido W., Castillo J. 2004. Mapa de vegetación potencial de la Península de Yucatán. Mapa de Sistemas Ecológicos Potenciales. Pronatura Península de Yucatán a través del Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca. Programme for Belice, Fundación Defensores de la Naturaleza, El Colegio de la Frontera Sur, Wildlife Conservation Society, Conservacion Internacional, The Nature Conservancy.
- T. Santos, J. L. Tellería. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas* 15 (2): 3-12.
- Tabachnick B. G., Fidell L. S. 1996. Using multivariate statistics. Harper Collins College Publishers. New York. 17-19 pp.
- Vázquez-Vázquez Claudia, Ortiz-Díaz Juan Javier, Tun-Garrido Juan, García-Gil Gerardo. 2012. Flora Vascular de las sabanas de Xmabén, Hopelchén, Campeche, México. *Polibotánica*. 34: 1- 19 pp
- Vega-López Adrián, Valdez-Hernández Juan Ignacio, Cetina-Alcalá Víctor Manuel. 2003. Zonas ecológicas de *Brosimum alicastrum* Sw. en la costa del Pacífico mexicano. *Madera y Bosques*. 9 (19): 27-53
- Velazquez A., Bocco G., Torres A. 2001. Turning scientific approaches into practical conservation actions: The case of comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, México. *Environmental Management*. 27 (5): 655-665.
- Vera-Castillo Gil. 2002. Estado de la diversidad genética de los árboles y bosques en el sur y sureste de México. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 48 p.
- Vergara G., Gayoso J. 2004. Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo. *Bosque (Valdivia)*. 25(1): 43-52 pp.
- Villaseñor Jose Luis, Téllez-Valdés Oswaldo. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Serie Botánica*. 75(2): 205-220.
- Vitousek, P. M., Mooney H. A., Lubchenco J., Melillo J. M. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499.

Welch R. 1982. Spatial Resolution Requirements for urban studies. *Int. Remote Sensing*. 3(2): 139- 146 pp.

Wilson J. B. 1999. Guilds, Functional types and ecological groups. *Oikos*. 86: 507-522 pp.

WorldClim. 2012. Global Climate Data (Actualizado en 2011). Disponible en: <http://www.worldclim.org/current>

[Acceso 12 de enero de 2012].

Wyant J. 1997. Agroforestería: una perspectiva ecológica. *Agroforestería en Las Américas*. Vol. 4 (16) : 22-23.

ANEXOS.

A. Abreviaturas y siglas usadas

AB área basal.

AIC Áreas de Influencia Climática.

AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer.

Aw

Aw1 Cálido.

Aw0 w''

Ax' (W0)

BS0 (h') ww''

B. alicastrum Brosimum alicastrum.

BIOCLIM perfiles bioclimáticos

CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

CONAF Corporación Nacional Forestal.

CONAFOR Comisión Nacional Forestal.

CONAMA Comisión Nacional del Medio Ambiente.

cm centímetro.

D diámetro.

INF Inventario Nacional Forestal

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Km Kilómetro.

m metro

MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

NDVI Normalized Difference Vegetation Index.

NOAA National and Atmospheric Administration.

OEA Organización de los Estados Americanos.

P/T Presión/Temperatura.

r radio

RK multivariado

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIG Sistemas de Información Geográfica.

Temford Teledetección para el manejo forestal dinámico.

WorldClim Global Climate Data.

π PI con un valor real de 2.1416