



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

División Académica de Ciencias Biológicas



**Construyendo comunidades sintéticas arbóreas: una
alternativa al deterioro forestal en la cuenca del río
Usumacinta, Tabasco, México**

Xicoténcatl de la Cruz Uc

Tesis de Maestría

Director:

Dr. Arturo Valdés Manzanilla

Co-director:

Dr. Víctor Luis Barradas Miranda

Villahermosa, Tabasco, Diciembre de 2015



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



NOVIEMBRE 25 DE 2015

**C. XICOTÉNCATL DE LA CRUZ Uc
PAS. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, titulado: **"CONSTRUYENDO COMUNDIADES SINTÉTICAS: UNA ALTERNATIVA AL DETERIORO FORESTAL EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO"**, asesorado por el Dr. Arturo Valdés Manzanilla y Dr. Víctor Luis Barradas Miranda sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por Dra. Luisa del Carmen Cámara Cabrales, Dr. Víctor Luis Barradas Miranda, Dr. Víctor Luis Barradas Miranda, Dr. Arturo Valdés Manzanilla, Dr. José Luis Martínez Sánchez y Dr. Adalberto Galindo Alcántara.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



CARTA AUTORIZACIÓN

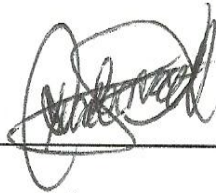
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“CONSTRUYENDO COMUNDIADES SINTÉTICAS: UNA ALTERNATIVA AL DETERIORO FORESTAL EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA, TABASCO, MÉXICO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 25 de Noviembre de 2015.

AUTORIZO



XICOTÉNCATL DE LA CRUZ Uc

A MI DIOS por ayudarme siempre y llenarme de bendiciones, por escuchar mis súplicas, por darme la fuerza necesaria para sobrellevar los malos momentos y por permitirme disfrutar ratos muy agradables.

A MIS PADRES por su apoyo incondicional. Gracias también por desvelarse junto conmigo. Gracias por todo el cuidado que han puesto en mí. Gracias por estar siempre conmigo. Este lapso de mi vida no sería posible sin ustedes. Los amo, los quiero, los aprecio, los admiro, los respeto... simple y sencillamente muchas bastantes demasiadas e infinitas gracias por todo lo que han hecho por mí, por lo que siguen haciendo y por lo que de seguro seguirán haciendo por mí.

A mi hermano JACO porque estas líneas no serán suficientes para externar toda la falta que me hace mi hermano JACO, porque siempre me apoyó y me cuidó y se preocupó tanto por mí; estas líneas verdaderamente las escribo con lágrimas ya que desearía tanto que él pudiera estar vivo para poder disfrutar de este momento junto conmigo, por eso este trabajo se lo dedico de una manera muy especial a él, porque considero que sin su ayuda no habría podido lograr tantas cosas en lo que llevo de vida, ya que me enseñó cosas muy valiosas... TE EXTRAÑO MI MANITO BONITO Y MI MANITO QUERIDO... SIEMPRE, SIEMPRE TE RECORDARÉ.

A TODOS MIS AMIGOS Y AMIGAS por preocuparse por mí, por preguntar "¿cómo te va?", "¿cómo estás?", "¿cómo te vas a titular?", "¿ya registraste tu protocolo?", "¿cómo vas en las revisiones?", "¿cuándo presentas tu examen?", "¿cuándo te titulas?", "¿me vas a invitar?" ó "avísame cuando presentes" y por acompañarme en mi titulación MUCHAS GRACIAS.

A los maestros que me enseñaron cosas valiosas durante mi carrera.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. PROTOCOLO

1.1.- INTRODUCCIÓN	7
1.2.- ANTECEDENTES	11
1.3.- JUSTIFICACIÓN	14
1.4.- OBJETIVOS	
General	
Específicos	15
1.5.- METODOLOGÍA	
1.5.1.- Área de estudio	16
1.5.2.- Selección de especies de importancia económica o comercial	
1.5.3.- Búsqueda en base de datos	
1.5.4.- Distribución potencial	
1.5.5.- Modelos de asociación	17
1.6.- LITERATURA CITADA	19

CAPÍTULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO

CONSTRUYENDO COMUNIDADES SINTÉTICAS ARBÓREAS: UNA ALTERNATIVA AL DETERIORO FORESTAL EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA EN TABASCO, MÉXICO

2.1.- RESUMEN	23
2.2.- INTRODUCCIÓN	24
2.3.- MÉTODOS	
2.3.1.- Perspectiva del Área de estudio	25
2.3.2.- Selección de especies	
2.3.3.- Base de datos y distribución potencial	27
2.4.- RESULTADOS	28

2.5.- DISCUSIÓN	33
2.6.- CONCLUSIONES	39
2.7.- AGRADECIMIENTOS	
2.8.- REFERENCIAS.....	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especies nativas escogidas para el presente estudio.	28
Cuadro 2. Áreas resultantes de la formación de comunidades sintéticas usando las especies nativas escogidas.	30
Cuadro 3. Principales características biológico-forestales de las especies utilizadas en el presente estudio.....	35

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Cuenca del río Usumacinta	16
Fig. 2. Delimitación de la cuenca del Usumacinta (línea roja) en Tabasco. Según Ibarra (2009).....	18
Figura 1. Uso del suelo y distribución de la vegetación en el área de estudio, ubicada en la cuenca del río Usumacinta en México.....	26
Figura 2. Diagrama metodológico para la obtención de las comunidades sintéticas arbóreas.	28
Figura 3. a) Mapa de la distribución potencial de <i>T. rosea</i> para diferentes porcentajes de probabilidad de ocurrencia de esta especie (bajo, medio, alto, muy alto). b) Lo mismo que a), pero sin el porcentaje bajo de probabilidad de ocurrencia.	31
Figura 4. Comunidad sintética propuesta para los fines requeridos de los tomadores de decisiones.	32
Figura 5. Comunidad sintética incluyendo especies con distribución potencial restringida.....	33

CAPÍTULO I. PROTOCOLO

1.1.- INTRODUCCIÓN

México es un país privilegiado por su biodiversidad y se le ubica en el cuarto lugar entre los países megadiversos, junto con Brasil, Colombia e Indonesia, está entre los primeros lugares en las listas de diversidad biológica que se han elaborado en el mundo. Las características que hacen a México un país megadiverso derivan de su ubicación geográfica y de su relieve. El país se extiende dentro de dos de las regiones biogeográficas reconocidas en el mundo, la neártica y la neotropical, las cuales se entrelazan en el sur y centro de México, creando una importante zona para la biodiversidad del planeta (CONABIO, 2009). Las regiones tropicales de México se ubican entre las zonas biológicamente más ricas del planeta (Redowski, 1978).

Antaño, la superficie de la Tierra estaba dominada firmemente por los bosques. Por ejemplo, un 14% estimado de los 150 millones de kilómetros cuadrados que componen nuestros ecosistemas terrestres era selva tropical (FAO, 2002).

La disminución de la vegetación natural conlleva graves consecuencias al medio, que resultan globalmente en efectos como es el calentamiento global, el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, ésta se acentúa en forma alarmante en los bosques y selvas tropicales (Velázquez et al. 2002). Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del carbono orgánico se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂ (FAO, 2002).

Las selvas son ecosistemas altamente diversificados y eficientes en la transformación de la energía solar en biomasa; además, constan de una alta complejidad en cuanto a formas de vida vegetal en las que sobresalen las especies arbóreas. En México, las selvas perennifolias y subperennifolias ocupan solo el 5.1% de su superficie con 9,913,463 ha (INF 2000; INEGI 2003). El porcentaje anual de deforestación de selva en México es aproximadamente del 2% entre 600,000 y 700,000 ha/año (FAO, 1993; Velázquez et al. 2002). Debido a lo anterior, la deforestación ha sido el uso del suelo más estudiado en las zonas tropicales debido a las altas tasas de biodiversidad que albergan y al balance ecológico que aportan. México ocupa el tercer lugar respecto a las zonas en donde ocurren las mayores tasas de deforestación. Los datos actuales indican que México alberga solo 0.5 ha de cubierta forestal per cápita comparado con el 0.7 que es la media mundial (Velázquez et al. 2002); además de que los cambios en la biodiversidad son evidentes cuando ocurre la deforestación (FAO, 2002).

En Tabasco debido a su elevado nivel de humedad, las selvas altas y medianas perennifolias dominan el paisaje de esta provincia, aunque en un estado muy perturbado, así como la vegetación hidrófila asociada con las lagunas costeras. En cuanto al uso del suelo, el 25.82% corresponde a agricultura, 30.62% a pastizales, 16.19% a algún tipo de selva, 2.75% a manglar y 23.58% a popal-tular (Rojas y Ríos, 2012).

Tabasco ha perdido a lo largo de varias décadas más de un millón de hectáreas de superficie arbolada con los consecuentes efectos negativos —erosión, incremento de temperatura,

azolvamiento de ríos, pérdida de la biodiversidad— ocasionado en gran parte por la superficie de la selva convertida en pastizales. A principios de 2007, surgió el Programa ProÁrbol siendo sus principales objetivos: i) combatir la pobreza; ii) recobrar la masa forestal y, iii) ampliar la productividad de bosques y selvas de la República Mexicana. Con dicho proyecto se ha apoyado la reforestación de 3,000 ha y obras de suelo en 350 ha (SEGOB, 2008). Las selvas del estado de Tabasco que originalmente cubrieron la mayor parte del territorio, han cambiado su distribución en las últimas cinco décadas sufriendo una deforestación de más del 90 %, considerándose que en la actualidad existen entre 40,000 y 50,000 ha de selva, que se encuentran localizadas en el área serrana del estado, en los municipios de Tenosique, Teapa, Tacotalpa, Macuspana y Huimanguillo (Castillo y Zavala 1996; Pérez, 2012).

A pesar de las graves alteraciones en los diversos ecosistemas y de los cambios drásticos en el uso del suelo, Tabasco es todavía un estado biológicamente rico. La expansión ganadera fue y continúa siendo la actividad que principalmente provocó la reducción del 95% del millón de hectáreas originales de selva y en menor grado de las comunidades de plantas halófitas. No obstante que originalmente el 60% del territorio de la entidad se encontraba cubierto por selvas, en la actualidad más del 50% de la superficie de la entidad se destina a actividades agropecuarias y poco más del 23% corresponde a popales y tulares (Rojas y Ríos, 2012).

Los estudios sobre endemismo se han beneficiado con los avances de la tecnología SIG y con el desarrollo de los métodos Predictive distribution modeling (PDM) (Guisan y Zimmermann 2000). El desarrollo de computadoras veloces y de programas para cartografía geográfica ahora permite hacer modelos de la distribución de una especie particular analizando las características ambientales de sus localidades conocidas (Guisan y Zimmermann 2000; Guisan y Thuiller 2005).

Diversos autores (Guarino, 2002 *et al.*, Schedelman y van Zonneveld, 2011) destacan el papel desarrollado por las técnicas ligadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que a partir de la aplicación de ciertos modelos matemáticos permiten predecir la distribución de especies en lugares donde no se han realizado recolectas o no se tienen registros de presencia, lo que puede resultar de interés en las políticas públicas de inventario y conservación del patrimonio natural. Es importante observar que cuando un área geográfica tiene un nicho adecuado para una especie, esto no significa que efectivamente la especie se encuentre ahí. Las limitaciones de dispersión y barreras geográficas impiden ocupar todas las áreas geográficas que tiene un ambiente que cabe dentro del nicho realizado. También en muchas áreas donde una especie puede ocurrir, es posible que esta ya no exista debido a la eliminación del ambiente natural por factores humanos, para dar lugar a centros urbanos o para la agricultura (Scheldeman *et al.* 2011).

Un modelo de distribución facilita el diseño de muestreos para localizar nuevas poblaciones. En algunas especies amenazadas encontrar una nueva población puede marcar una diferencia para planificar su conservación. La habilidad de los Modelos de Distribución de Especies (MDE) para facilitar la localización de estas poblaciones puede constatarse en Williams *et al.* (2009).

Los modelos de distribución potencial (MDP) son representaciones cartográficas de la idoneidad de cada punto del terreno para la presencia de una especie. El valor de idoneidad se establece a partir de la relación estadística observada entre la distribución real conocida de la especie y un conjunto de variables independientes que reflejan el clima y, complementariamente, propiedades geológicas y topográficas.

Los modelos predictivos de distribución se basan principalmente en nichos ecológicos, prediciendo la disponibilidad ambiental para las especies como una función de las variables ambientales dadas, representando una aproximación de dicho nicho (Phillips, 2005).

La relación estadística se usa para definir un “nicho climático” que delimita los valores ambientales adecuados para cada taxón respecto al clima reciente. Este nicho climático es utilizado para delimitar cartográficamente zonas potencialmente adecuadas tanto en la actualidad como en escenarios climáticos alternativos (Mateo *et al.*, 2011). Los MDP son hoy en día una herramienta muy utilizada en investigación y gestión y se han utilizado para fines muy diversos, desde el análisis de especies invasoras hasta la extensión de enfermedades provocadas por vectores animales (Guisan y Zimmermann, 2000; Guisan y Thuiller, 2005; Araújo y Guisan, 2006; Elith y Leathwick, 2009).

Se denomina nicho “fundamental” al conjunto de todas las condiciones que permiten la supervivencia de las especies, mientras que un nicho “realizado” es aquel que las especies ocupan en realidad (Phillips, 2005; Guisan & Zimmermann, 2000). En la mayoría de los casos, el nicho realizado puede ser más pequeño que el nicho fundamental, debido a la influencia humana, interacciones bióticas o barreras geográficas que dificultan la dispersión y colonización (Phillips, 2005). La distribución inferida a partir del nicho fundamental se denomina distribución potencial (Phillips, 2005), la cual es necesaria para tener un conocimiento relativo de los patrones de distribución de cada especie. La metodología utilizada para determinar las distribuciones potenciales de cada especie se basa en una probabilidad de presencia con base en la disponibilidad en un espacio ecológico el cual es proyectado dentro de un espacio geográfico, mostrando así un área geográfica de presencia predicha para las especies, es decir aquella área que satisface las condiciones de un nicho fundamental (Anderson & Martínez-Meyer, 2003; Mercado, 2010).

Aunque muchos estudios han realizado modelos de distribución de especies para ayudar a su conservación en varias partes del mundo (Chen y Peterson, 2002; Peterson, 2001), en años recientes se vienen utilizando con mayor frecuencia los modelos de predicción de distribución (PDM) en estudios de ecología, biogeografía, evolución y conservación para investigar los procesos vinculados con los patrones de distribución de las especies y para predecir en qué áreas no estudiadas previamente podrían localizarse éstas (Guisan y Thuiller 2005).

Los modelos de distribución potencial se pueden construir con MaxEnt, una aplicación basada en ajustes de máxima entropía (Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudík 2008) ampliamente utilizada en este tipo de trabajos y que muestra resultados adecuados en comparación con otros métodos posibles (Elith *et al.* 2006). El modelo permite con pocos datos de presencia, hasta cerca de cinco registros, modelar la distribución de las especies con bastante confianza estadística. Los registros para cada especie en el área de estudio son la ocurrencia de una especie dada, lo que constituye la muestra de puntos, y además de las características tomadas, es decir, cuantas veces encuentras ciertas características ambientales seleccionadas en el modelo predictivo que se definan un área potencial de presencia de una especie dada (Phillips, 2005).

Según Phillips (2006), MaxEnt estima la probabilidad de distribución esperada, encontrando la probabilidad de distribución que es más uniforme (entropía máxima), dadas las restricciones de que el valor esperado de cada variable predictiva ambiental ajuste con su promedio empírico (valores

para los datos de registros positivos); en este sentido se define la entropía como el grado de evolución (orden) existente en un sistema. El principio de la entropía máxima afirma que, para todo sistema cerrado, la entropía siempre tiende a aumentar, es decir que todo sistema cerrado siempre tiende al desorden o a la incertidumbre estadística.

La predicción de la distribución geográfica de una planta comienza con el desarrollo de un modelo conceptual basado en la teoría del nicho ecológico, el análisis de gradientes de la vegetación, el postulado del equilibrio de las especies con el clima y en la premisa de que la distribución de la vegetación puede predecirse a partir de la distribución espacial de variables ambientales que están correlacionadas o controlan directamente la distribución de plantas (Franklin, 1995). Desde entonces el clima, en combinación con otros factores ambientales, se ha utilizado para explicar patrones de distribución de plantas a lo largo de todo el mundo, pero incluso estudios detallados pueden omitir aspectos fundamentales en este sentido. (Salisbury, 1926; Soberon 2007). Sin embargo, hay que considerar que la biodiversidad de las plantas se estudia a nivel de la comunidad, a nivel de la especie y a nivel genético (Scheldeman y Van, 2011).

1.2.- ANTECEDENTES

Felicesimo, *et al.* (2012), presentan los resultados de un proyecto que incide en la vulnerabilidad de la flora. La construcción de modelos de distribución potencial basados en el nicho climático actual y su proyección a escenarios futuros permitió estimar la evolución de las zonas potenciales para 75 especies forestales y 145 de flora amenazada. Los resultados mostraron que un 23% de las primeras y un 43% de las segundas tienen una vulnerabilidad crítica o muy alta.

En España presentan un mapa de paisajes vegetales potenciales, mencionando que es una interpretación de los paisajes vegetales basada en el concepto de clímax o vegetación potencial (estadio potencial que se alcanzaría en ausencia de agresiones por causas extrínsecas a la comunidad). Además de que presentan dos cartografías sintéticas de los paisajes vegetales españoles basadas en la integración de los mapas digitales disponibles con sistemas de información geográfica (Sainz *et al.*, 2010).

En un estudio en Hojancha, Costa Rica, se analizaron los cambios de uso de suelo desde diversas perspectivas y fuentes de información, con el fin de hacer una propuesta para un ordenamiento de los ecosistemas forestales que aproveche las sinergias entre la producción y la conservación. La metodología utilizada se sustenta en tres aspectos claves: el análisis de la información geográfica, las perspectivas locales y el manejo de la información mediante el software de manejo forestal SILVIA, el cual se centra en el ordenamiento de la producción forestal. Los resultados del estudio demuestran que el 71% del área se encuentra bajo un uso adecuado del suelo, incluyendo 40.6% bajo cobertura forestal natural y 7.9% en plantaciones forestales. Esta recuperación se debe a factores como: la acertada labor de extensión forestal impulsada por las organizaciones, la necesidad de buscar nuevas alternativas de producción después de la crisis ganadera y el desarrollo de las políticas ambientales tendientes al adecuado manejo de los recursos naturales. Las especies más importantes en plantaciones forestales fueron teca y melina; el área tiene un potencial importante, pues ofrece montaña y playa al mismo tiempo (Serrano *et al.*, 2008).

En Ecuador para conocer la distribución y estado de conservación de *Grosvenoria campii* King & Rob. (Asteraceae) se realizaron análisis donde se compiló un registro de los especímenes depositados en los herbarios del Ecuador y con los datos de presencia se generaron modelos de distribución potencial para esta especie utilizando el programa MaxEnt. Estos modelos indican que la especie no sería rara sino poco recolectada. Un análisis de la reducción del hábitat, sin embargo, corroboró la categoría de amenaza asignada por la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (IUCN) a esta especie, es decir En Peligro [EN B1 AB (iii)] (Caranqui y Suárez-Duque, 2012).

Siles *et al.* (2004), elaboraron modelos de la distribución espacial de especies de la vegetación potencial en el incendio del “Puerto de Las Palomas” (Cazorla, Jaén). Para ello utilizaron tres aproximaciones analíticas: Modelos Lineales Generalizados (GLIM), Análisis Discriminante general (GDA) y Diagramas de regresión (CART). A partir del modelo más fiable conseguido para cada especie se ha desarrollado un mapa predictivo de su distribución potencial en el área incendiada; ilustrándose los resultados con *Pinus nigra* y *Buxus sempervirens*.

Otro estudio semejante utilizó modelos para predecir la distribución de 83 especies de *Anthurium*, para identificar tres potenciales sitios de alta biodiversidad de endemismo en Ecuador (Vargas *et al.*, 2004).

Para determinar el área potencial de distribución de la especie *Prosopis hassleri* Harms (algarrobo paraguayo) en la provincia de Formosa, Argentina, el fundamento metodológico de la predicción de la distribución potencial de la especie consistió en aplicar la teoría de modelos de distribución y sistemas de información geográfica (SIG), utilizándose para tal fin el modelo MaxEnt 3.3.3e, 19 variables bioclimáticas procedentes de la base de datos climáticos de Worldclim y la muestra final obtenida a partir del análisis morfológico consistente en 83 puntos de presencia para la especie. Se encontró que la especie abarca un área potencial dentro de la provincia de Formosa de aproximadamente 22,118 km², el área de distribución de la especie dentro de Argentina tiene carácter marginal (Kees, 2013).

Un grupo de científicos norteamericanos, ha usado MaxEnt para desarrollar mapas de riesgo de algunas plagas, como por ejemplo *Agrilus planipennis*, con el fin de ayudar en la asignación de recursos para detección y tratamiento de las zonas más propensas a ser afectadas (Sobek-Swant, 2012).

En Perú se realizó el modelamiento de nichos ecológicos, con software libres (DIVA GIS, MaxEnt). La información fue recopilada de diferentes fuentes y fue procesada en la plataforma ArcGIS v. 10. Adicionalmente, se utilizó información de la Base de Datos Mundial WorldClim recopilándose en total 19 variables bioclimáticas (temperatura y precipitación) que están relacionadas directamente con los aspectos fisiológicos del crecimiento de las especie y no tienen en cuenta el momento en el que ocurrió un estado específico, es decir, no importa si el mes más caliente fue julio (hemisferio norte) o enero (hemisferio sur). El proceso del modelamiento se apoyó en la plataforma MaxEnt (OSNIFOR, 2013). Un proyecto semejante se realizó con "Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del cedro (*Cedrela odorata*) y el cocobolo (*Dalbergia retusa*), especies incluidas en apéndices CITES y recomendaciones para el manejo in situ de sus poblaciones" (Cárdenas *et al.*, 2012).

En México se ha utilizado la modelación de nicho ecológico para generar un escenario hipotético sobre la distribución potencial de especies, usando el modelo MaxEnt para conocer la distribución potencial hipotética del venado cola blanca y el pecarí de collar. Posteriormente, utilizando herramientas de SIG, calcularon algunos métricos del paisaje y analizaron el efecto del cambio de uso de suelo sobre estas distribuciones, obteniendo que la distribución potencial y efectiva del pecarí de collar se estimó en mayor extensión geográfica en comparación a la del venado cola blanca (Yáñez *et al.*, 2012).

García-Aranda *et al.* 2012 Con el objetivo de conocer la distribución potencial de *Taxus globosa* Schlecht., especie de conífera con distribución restringida y listada bajo estatus de conservación en la NO M-059-SEMARNAT-2010 se utilizó el método de modelación de distribución de máxima entropía o MaxEnt con base en 40 registros obtenidos en campo y 39 registros del REMIB-CONABIO. De acuerdo con el análisis MaxEnt, las 19 variables BIOCLIM y las tres topográficas, las principales comunidades vegetales donde potencialmente se podría distribuir *Taxus globosa* en México fueron bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de

montaña. Los estados donde potencialmente se podría distribuir *Taxus globosa* en México son: Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas y Veracruz.

A nivel local, en Tabasco se han reportado tasas de disminución anual en cobertura de selvas de 6.1% (selva baja) a 34.9% (selva mediana) en Pantanos de Centla y de 4.1 a 11.6% (selva alta) en Sierra Madrigal. No obstante, los remanentes de selvas en Tabasco albergan una alta biodiversidad: alrededor de 2500 especies de plantas (Zarco *et al.*, 2010).

En la microcuenca Poleyá, Tenosique, se realizó una propuesta de reforestación y enriquecimiento. La delimitación de la micro cuenca se definió considerando los límites naturales a partir de un modelo digital de terreno. La digitalización y la fotointerpretación se llevó a cabo utilizando el software especializado ArcGis 9 (Morales *et al.*, 2008).

En la Unidad de Manejo Forestal de los Ríos, Cámara, *et al.* (2011) realizaron las distribuciones potenciales de *Pseudobombax ellipticum* (Amapola), *Cordia alliodora* (Bojón), *Ceiba pentandra*, *Metopium brownei* (Chechen), *Swartzia cubensis* (Corazón azul), *Astronium graveolens* (Jobillo), *Spondias mombin* (Jobo), *Tabebuia rosea* (Macuilis), *Bursera simaruba* (Palo mulato), *Lysiloma latisiliquum* (Tzalam), y *Simarouba glauca* (Zapatero), sugiriendo utilizarlas en plantaciones forestales.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

La deforestación que conlleva el cambio de uso de suelos en México es un problema notorio y cada vez más grave; por esta razón se hace necesario implementar medidas de reforestación de manera sustentable que permitan la conservación de los ecosistemas, y que pueda detonar el potencial económico para las zonas en cuestión. Además, con esto lograr que los habitantes de dichos lugares puedan tener una fuente de ingresos, a la vez que se cree una conciencia ecológica muy estrecha entre los pobladores, el turismo y el sector económico para cuidar las zonas en reforestación; ya que desde el punto de vista socioeconómico las comunidades con mayor diversidad aseguran más mercados maderables y no maderables, de autoconsumo y otros usos que puedan tener la vegetación a nivel local.

Conocer la distribución potencial es importante para el adecuado manejo forestal, sobre todo en cuestiones que implican la toma de decisiones (semejante a un Ordenamiento Territorial) ya que permiten la utilización de especies arbóreas de rápido crecimiento, de importancia económica y otros usos, así como de importancia ecológica, independientemente de que no sean especies nativas o endémicas de la región, pero que tienen la característica de adaptarse de la mejor manera a la zona de estudio, sin convertirse en especies problema a largo plazo.

En este sentido, es útil el manejo de modelos que permiten estimar si determinadas especies arbóreas pueden tener presencia en el área a reforestar, conociendo su distribución potencial y la asociación entre ellas a manera de comunidades sintéticas, permitiendo pasar de monocultivos a policultivos o sistemas agroforestales sustentables en todos los aspectos, tanto económicos como ecológicos, para un mejor manejo forestal de áreas degradadas o abandonadas.

Estos modelos son herramientas valiosas para la conservación: pueden guiar las investigaciones de biología hacia los lugares donde es probable que se encuentren las especies, proporcionar líneas de base para predecir la respuesta de las especies a las alteraciones del paisaje y/o a los cambios climáticos, y a identificar los sitios de alta prioridad para la conservación.

Por tanto la integración de MaxEnt con otras fuentes de información disponible, puede transformarse en una herramienta de gran valor para la generación de información que permita hacer un uso más eficiente de los recursos, predecir escenarios potenciales, y de esta manera aumentar el éxito de proyectos de conservación, así como también aquellos relacionados con el manejo de recursos naturales productivos (Morales, 2012; Hernández *et al.*, 2008; Pearson, 2007; Sua *et al.*, 2009; Anderson *et al.*, 2003).

Tabasco necesita recuperar gran parte de sus áreas deforestadas, esto debido al cambio de uso de suelo sobre todo a pastizales destinados para actividades ganaderas. En esto radica la importancia del estudio que se busca realizar a nivel de cuenca del Usumacinta en esta zona del sureste de la república mexicana, ya que mediante la reforestación también se pretende contribuir a la captura de carbono (específicamente CO₂) y con esto probablemente mitigar el cambio climático a nivel local. Es por esto que el presente proyecto considera que la reforestación es el principal mecanismo a seguir para lograrlo.

1.4.- OBJETIVOS

General

Determinar la distribución potencial de especies arbóreas de interés económico y ecológico en la cuenca del río Usumacinta en Tabasco.

Específicos

Elegir especies arbóreas de interés económico y ecológico para conocer su distribución potencial útiles para la planeación forestal.

Determinar de acuerdo a las normas si las especies con distribución potencial están en alguna categoría de riesgo.

Construir las comunidades sintéticas más apropiadas para reforestar la zona de estudio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

1.5.2.- Selección de especies de importancia económica o comercial

Se realizó una búsqueda de especies forestales nativas maderables y no maderables, comercialmente importantes y/o de diversos usos en México y otros países a través de artículos científicos, fichas técnicas de la CONAFOR, CONABIO, y libros, entre otros. Esto con el fin de crear una base de datos que contenga **información biológica** de las especies, pero principalmente para saber si se reportan en el área de estudio y el **tipo de crecimiento** que presentan (**lento, medio o rápido**); así como si se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo de la Norma Oficial Mexicana **NOM-059-SEMARNAT-2010**; de la **Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)**; y de la **Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)**.

1.5.3- Búsqueda en base de datos

Las especies seleccionadas por su tipo de crecimiento rápido, su importancia económica y/o con diversos usos de interés se buscaron en diversas bases de datos para obtener información acerca de especímenes reportados para México. Se usaron las siguientes bases de datos: Global Biodiversity Information Facility (GBIF); así como fichas técnicas de la CONAFOR, CONABIO. La búsqueda de especies en la base de datos se realizó por su existencia (Occurrences) con los filtros: nombre científico y México. Se guardó la información de los especímenes que contaron con presencia en México y con información geoespacial (específicamente con coordenadas de longitud y latitud).

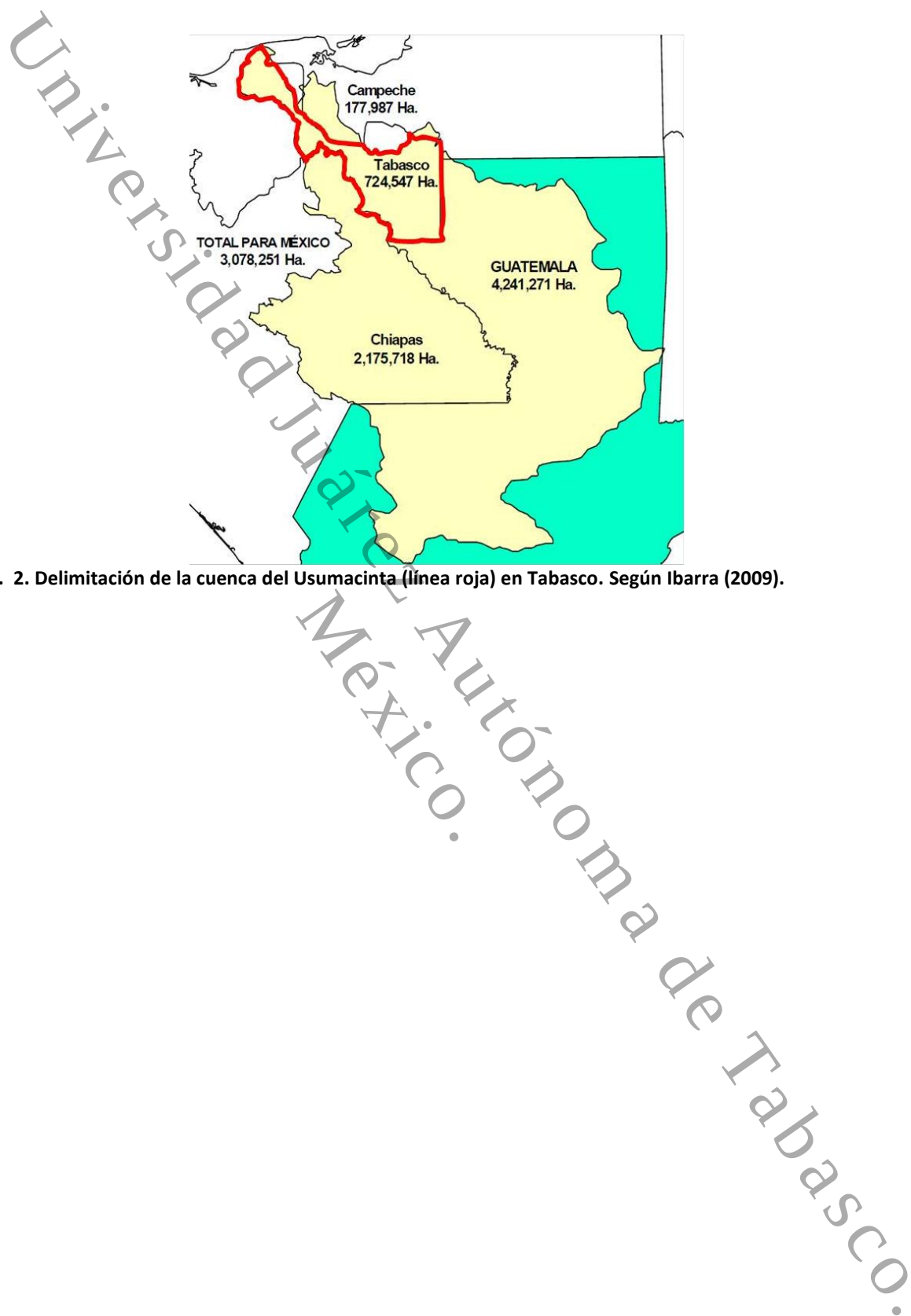
1.5.4.- Distribución potencial

Se utilizó el programa **MaxEnt, Maximum Entropy Species Distribution Modeling 3.3.3e** (Phillips y Dudík, 2008) con el fin de reconocer a las especies de la base de datos que contaron con distribución potencial en el área de estudio (cuenca del Usumacinta en Tabasco delimitado al “Plan Balancán-Tenosique”) y que pueden ser útiles para reforestación en zonas que lo necesiten o que así lo ameriten, generando los mapas correspondientes mediante el software ArcMap 10.1. Se resalta que las especies a considerarse en el proyecto cuentan con al menos 15 puntos reportados y georeferenciados para México.

1.5.5.- Modelos de asociación

Seguidamente se construyeron mapas para determinar si la distribución potencial de dos o más especies convergen en el área de estudio (Figura 2) y la amplitud del área de convergencia, utilizando el programa ArcMap 10.1.

Todas las capas (uso de suelo y vegetación, así como la cuenca del Usumacinta) usadas para el presente trabajo fueron obtenidas de INEGI, CONABIO y del CCGSS (Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste) en formato *shapefile*, para su posterior utilización en la distribución potencial y en la construcción de las comunidades sintéticas.



1.6.- LITERATURA CITADA

- Anderson, R. P., D. Lew & A. T. Peterson. 2003. **Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models.** *Ecological Modelling*. 162: 211-232.
- Anderson, R.P. & Martínez-Meyer E. 2003. **Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador.** *Biological Conservation* 116: 167-179.
- Araújo, M.B. & Guisan, A. 2006. **Five (or so) challenges for species distribution modelling.** *Journal of Biogeography* 33:1677-1688.
- Cámara C.L.C., Hernández T.H., Castillo A.O., Galindo A.A., Morales A., Zequeira L.C., Rullán F.C., Jesús G.M.C., Gama C.L.M., Cappello G.S., Ángeles G.M. 2011. Estudio regional forestal de la UMAFOR de los Ríos. DACBiol, UJAT, CONAFOR. 280 p.
- Cárdenas, L.D.; Castaño, A.N.; Sua, T.S.N; Montero, G.M.I. y Ruiz, B.LK. 2011. **Evaluación de la distribución potencial actual en Colombia del cedro (*Cedrela odorata*) y el cocobolo (*Dalbergia retusa*), especies incluidas en apéndices CITES y recomendaciones para el manejo *in situ* de sus poblaciones.** CITES.
- Caranqui, J. y Suárez-Duque, D. 2012. **Conservación y Estado Poblacional de *Grosvenoria campii* R.M.King & H.Rob. (Asteraceae) en Ecuador.** *Rev. Q'EUÑA* 5: 17 – 24. Sociedad Botánica del Cusco.
- Castillo A.O., Zavala C.J. 1996. **Fisiografía, recursos vegetales y alternativas de manejo en el Parque Estatal Agua Blanca Tabasco.** Universidad y Ciencia. 12 (23): 63–70. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Chen, G. & A. T. Peterson. 2002. **Prioritization of areas in China for the conservation of endangered birds using modelled geographical distributions.** *Bird Conservation International* 12:197-209.
- CONABIO. 2009. **Manglares de México: Extensión y distribución.** 2^a ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Elith, J., Graham, C.H., Peterson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N.E. 2006. **Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.** *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J. & Leathwick, J. 2009. **Species distribution models: Ecological explanation, prediction across space, time.** *Annual Reviews for Ecology, Evolution, Systematics* 40:677-697.
- FAO. 1993. Forest Resources Assessment 1990. Tropical Countries. Organización Mundial de Alimentación y Agricultura. Forestry Paper, 112 p.
- FAO. 2002. **Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra.** Roma. pp 61.
- Felicitísimo, A.M.; Muñoz, J.; Mateo, R.G. y Villalba, C.J. 2012. **Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático.** *Ecosistemas* 21(3):1-6. DOI.: 10.7818/ECOS.2012.21-3.01

Franklin J., 1995. **Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients**. *Progress in Physical Geography*, 19 (4):474–499.

García-Aranda, M.A.; Cantú-Ayala, C.; Estrada-Castillón, E.; Pando-Moreno, M. y Moreno-Talamantes, A. 2012. **Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México**. *Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León*. J. Bot. Res. Inst. Texas 6(2): 587 – 598

Guarino, I.; Jarvis, A.; Hijmans, R. & Maxted, N. (2002). **Geographic Information Systems (GIS) and the Conservation and Use of Plant Genetic Resources**. In *Managing Plant Genetic Diversity*. IPGRI. p. 387-404.

Guisan, A. & Zimmermann, N. E. 2000. **Predictive habitat distribution models in ecology**. *Ecological Modelling* 135:147-186.

Guisan, A. & Thuiller, W. 2005. **Predicting species distribution: offering more than simple habitat models**. *Ecology Letters* 8:993-1009.

Hernández, P.; Franke, I.; Herzog, S.; Pacheco, V.; Paniagua, L.; Quintana, H.; Soto, A.; Swenson, J.; Tovar, C.; & Valqui, T. 2008. **Predicting species distributions in poorly-studied landscapes**. *Biodiversity and Conservation*, 17; 1353-1366.

Ibarra, G.D. 2009. **Proyecto: Simulación Hidráulica del Río Usumacinta**. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. 108 pp.

IFN. 2000. **Investigaciones Geográficas**. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 43, 2000, 183–203.

INEGI. 2003. **Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente**. Datos nacionales.

Kees, S.M. 2013. **Modelado de nicho ecológico para estimación del área de dispersión de *Prosopis hassleri* Harms en la provincia de Formosa – Argentina**. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Formosa. Facultad de Recursos Naturales.

Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M., Muñoz, J. 2011. **Modelos de distribución de especies: una revisión sintética**. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:217-240.

Mercado N.I. and R.B. Wallace. 2010. **Distribución de primates en Bolivia y áreas prioritarias para su conservación**. *Tropical Conservation Science*. 3(2):200-217. Available online: www.tropicalconservationscience.org

Morales, E., Galindo, A., Gama, C. y Sánchez P. 2008. **Propuesta de Reforestación y Enriquecimiento de la microcuenca el Polevó, Tenosique, Tabasco**. En: *Memorias del Primer Encuentro de Investigación Científica de Tabasco*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Morales, S.N. 2012. **Modelos de distribución de especies: Software MaxEnt y sus aplicaciones en Conservación**. *Revista Conservación Ambiental. Sección Notas y Comentarios*. Volumen 2/Número 1/Notas y Comentarios/Páginas 1-5.

OSINFOR. 2013. **Modelamiento espacial de nichos ecológicos para la evaluación de presencia de especies forestales maderables en la Amazonía Peruana**. Punto & Gráfica S.A.C. 77 pp.

Pearson, R.G. 2007. **Species distribution modeling for conservation educators and practitioners. Synthesis**. American Museum of Natural History. Disponible en <http://ncep.amnh.org>.

Pérez, R.I. 2012. **Riqueza, uso y origen de plantas en recipientes en huertos familiares rurales de Tabasco, México**. Tesis de maestría. El Colegio de la Frontera Sur. 74 pp.

Peterson, A. T. 2001. **Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling**. Condor 103: 599-605.

Phillips S.J. 2005. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modeling* 190: 231-259.

Phillips, S. 2006. **A brief tutorial on Maxent**.

Phillips, S. J., Peterson, R., y Schapire, R.P. 2006. **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**. *Ecological Modelling* 190(3/4):231-259.

Phillips, S. J. y Dudík M. 2008. **Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation**. *Ecography*, 31: 161–175.

Rojas, C. y Ríos, V. 2012. **Informe de evaluación ambiental. Proyecto: sistemas productivos sostenibles y Biodiversidad**. CONABIO. México. pp 260.

RedRUM. 2011. **Primer encuentro de investigación en la Región Usumacinta**. DACBiol, UJAT. Tabasco. México.

Rzedowski, J. 1978. **Vegetación de México**. Ed. Limusa. México, D. F. pp. 400.

Salisbury E.J. 1926. **The geographical distribution of plants in relation to climatic factors**. The Geographical Journal 57:312–355.

Sainz, O., Sánchez, R. y García-Cervigón, A. 2010. **La cartografía sintética de los paisajes vegetales españoles: una asignatura pendiente en geobotánica**. *Ecología* 23: 249-272.

Scheldeman, X. y Van, M. 2011. **Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas**. Biodiversity International, Roma, Italia. 186 pp.

Serrano, D.M.E.; Campos, J.J.; Villalobos, R.; Galloway, G. y Herrera, B. 2008. **Evaluación y planificación del manejo forestal sostenible a escala de paisaje en Hojancha, Costa Rica**. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 363. Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales. Publicación no. 33. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. Turrialba, Costa Rica.

SEGOB. 2008. Tabasco: **Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4**. 231 pp.

Siles, D., Bastida, J., Rey, P.J. y Alcántara, J. 2004. **Modelos predictivos de distribución de especies de vegetación potencial en el incendio del “Puerto de las Palomas”, Sierra de Cazorla”, Jaén**. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Jaén. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 20: 167-172 «Actas de la I Reunión sobre Ecología, Ecofisiología y Suelos Forestales».

Sobek-Swant, S., Kluza, D.A., Cuddington, K. y Lyons, D.B. 2012. **Potential distribution of emerald ash borer: What can we learn from ecological niche models using Maxent and GARP?**. Forest Ecology and Management 281:23-31.

Soberon J., 2007. **Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species**. Ecology Letters 10(12):1115–1123.

Sua, S.T., N. Castaño A. y D. Cárdenas L. 2009. **Modelo predictivo de la distribución de flor de Inírida de invierno *Guacamaya superba***. Revista Colombia Amazónica Nueva Época 2: 145-154.

Vargas, J. H., Consiglio T., Jørgensen P. M. y Croat T. B. 2004. **Modeling distribution patterns in a species-rich plant genus, *Anthurium* (Araceae), in Ecuador**. *Diversity and Distributions* 10:211-216.

Velázquez A., Mas J.F., Díaz-Gallegos J.R., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P.C., Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurra E., Palacio J.L. 2002. Patrones y tasas de cambio del uso de suelo en México. Gaceta Ecológica. 62: 21–37.

Williams, J.N., Seo, C., Thorne, J. Nelson, J.K., Erwin, S., O'Brien, J.M., y Schwartz, M.W. 2009. **Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants**. *Diversity and Distributions* 15(4):565–576.

Yáñez, A., Mandujano, S., Martínez, M., Pérez, A. y González, Z. 2012. **Modelación de la distribución potencial y el efecto del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México**. *Therya* 3 (1):67-79.

Zarco, E., Valdez, H., Ángeles, P. y Castillo, A. 2010. **Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco**. *Universidad y Ciencia* 26(1):1-17.

CAPÍTULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO

CONSTRUYENDO COMUNIDADES SINTÉTICAS ARBÓREAS: UNA ALTERNATIVA AL DETERIORO FORESTAL EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA EN TABASCO, MÉXICO

Xicoténcatl de la Cruz Uc¹, Víctor L. Barradas^{2*}, Arturo Valdés-Manzanilla¹ y Luisa del Carmen Cámara Cabrales¹

¹División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México, maxico_8_5@hotmail.com

²Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México

*Autor de correspondencia: vlbarradas@ecologia.unam.mx

2.1.- RESUMEN

Quince distribuciones potenciales se han generado con un modelo de nicho ecológico, utilizando especies nativas que fueron elegidas de una zona de Balancán y Tenosique, Tabasco, México, que está delimitada por la cuenca del río Usumacinta y se considera una zona altamente deforestada, lo que con creces justifica la realización de este estudio. Dos de las especies estudiadas se encuentran listadas dentro de algún tipo de norma nacional o internacional sobre especies amenazadas. Se propone la utilización de ocho especies que presentaron mayor distribución potencial en la zona de estudio para la creación de comunidades sintéticas de acuerdo a las intersecciones realizadas con un sistema de información geográfica. Las comunidades sintéticas arbóreas pueden contribuir al aumento de la biodiversidad en sitios deforestados, en plantaciones y en relictos de selva. Se sugiere llevar a cabo más estudios en este tema, que produzcan distribuciones potenciales de otras especies nativas para la creación de comunidades sintéticas.

Palabras clave: Maxent, GIS, especies nativas.

2.2.- INTRODUCCIÓN

La deforestación que conlleva el cambio de uso de suelos a nivel mundial es un problema notorio y cada vez más grave a la par del supuesto desarrollo económico. Los bosques ocupan actualmente unos 4.000 millones de hectáreas, que representa cerca del 31% de la superficie del planeta. Las mayores tasas de deforestación se registraban en bosques de la zona templada situados en América del Norte, Asia y Europa, sin embargo, en la zona templada ha disminuido el ritmo de deforestación, aumentando en los bosques tropicales (FAO 2012). En México existe un acelerado proceso de deforestación de bosques y selvas (Tudela 1992), ya que de las aproximadamente 18×10^6 ha de selvas para el año 2002 sólo quedaban 3.15×10^6 que representan el 17.5% de la vegetación original, transformando el uso de suelo forestal a agrícola y pecuario, convirtiéndose en grandes extensiones de pastizales, creando parches de bosque templado y tropical dando una gran fragmentación (Moreno *et al.* 2011, Vázquez *et al.* 2011). En Tabasco se estima que existían aproximadamente 1.5×10^6 ha de selva mediana y alta perennifolia antes de 1900. Mucha de esa superficie ahora está convertida en pastizales. Los municipios de Balancán y Tenosique también presentan dicha degradación ambiental por causa de la deforestación, donde la mitad de la superficie selvática se ha convertido en praderas, incursionando en nuevos usos de suelo, como cultivos anuales, plantaciones maderables (*Cedrella odorata*) y no maderables como palma de aceite (*Alaëis guinnensis* Jacq.) y frutales, entre otros (Márquez *et al.* 2008, Vázquez *et al.* 2011).

Los estudios referentes a la distribución potencial de especies son abundantes en plantas y animales usando diversos métodos para lograr tal fin. Por ejemplo, De Cauwer *et al.* (2014) utilizando el modelo de nicho Maxent concluyeron que las distribuciones reales y potenciales de *Pterocarpus angolensis* DC, en el sur de África fueron muy similares, siendo una especie muy amenazada por la sobreexplotación debido a su madera valiosa, y por los cambios de uso del suelo. En Italia, en un estudio pionero sobre la probabilidad de ocurrencia de *Quercus suber* L., Vessella y Schirone (2013) utilizaron entre otros métodos de ocurrencia, al modelo Maxent, encontrando similitudes en las predicciones entre Maxent y GARP para la modelación del nicho ecológico de dicha especie. En un estudio llevado a cabo en las estribaciones del Himalaya, India con *Justicia adhatoda* L., se demostró que esta especie tiene un distribución potencial de buena a alta (Yang *et al.* 2013). Mientras que en el ecosistema costero Bosque Atlántico en Brasil, con fines de conservación, se estimó el grado del potencial de ocurrencia de cinco especies de *Metzgeria*, destacándose que el 93% de los fragmentos de bosque podrían ser protegidos (Barros *et al.* 2012). En Ecuador se analizó la

distribución geográfica, conservación y estado poblacional de *Grosvenoria campii* King & Rob. (Asteraceae), generando modelos de distribución potencial, indicaron que la especie no era rara sino poco recolectada (Caranqui & Suárez-Duque 2012). En México para conocer la distribución potencial, de *Taxus globosa* Schlecht., especie de conífera con distribución restringida y listada bajo estatus de conservación se encontró que las principales comunidades vegetales donde potencialmente se podría distribuir esta especie fueron los bosque de pino-encino, de encino-pino, de pino y mesófilo de montaña; en los estados de Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Tamaulipas y Veracruz (García-Aranda *et al.* 2012).

Una comunidad sintética se define como aquella que surge de la interacción de dos o más especies arbóreas que convergen en un área de estudio en común, con la potencialidad y posibilidad de coexistir en un nicho realizado.

El presente estudio tiene como finalidad construir comunidades vegetales sintéticas arbóreas, a partir de la distribución potencial de especies nativas de la región, en la Cuenca del Río Usumacinta delimitado para los municipios de Balancán y Tenosique en Tabasco, México, considerada una zona altamente deforestada, lo que permitirá a los tomadores de decisiones elegir algunas comunidades (o solo algunas de las especies para construir sus propias comunidades) para diversificar las plantaciones existentes, y a los conservacionistas les proporcionará una herramienta útil para conocer las especies que pueden coexistir en una misma zona con el fin de enriquecer el hábitat o de conocer los lugares más propicios para la reforestación, enfocando los recursos de una manera más eficiente. La relevancia del estudio es que representa la primera aproximación por construir comunidades sintéticas obtenidas de la distribución potencial de especies arbóreas nativas en la región de estudio, generadas a partir de un modelo de nicho de distribución potencial de especies (Maxent).

2.3.- MÉTODOS

2.3.1.- Perspectiva del Área de estudio

Para el presente estudio, en el estado de Tabasco, la región de la Cuenca del Río Usumacinta se delimitó para los municipios de Balancán y Tenosique” (figura 1). La zona presenta tres tipos de clima: El clima predominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano **Am (f)**, el régimen térmico medio anual fluctúa de 24° a 28° C; el clima cálido húmedo con lluvias todo el año **Af (m)**, la

temperatura media anual oscila de 22° a 28° C; y el clima tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano, **Aw**, la temperatura media anual de 26° C en adelante. La precipitación total anual para Balancán 1500 a 2000 mm y para Tenosique de 2000 a 2500 mm. Se presentan suelos leptosoles, gleysoles, luvisol y plintisol, pero el tipo de suelo dominante es el vertisol éutrico. En el uso del suelo, resalta el uso de pastizales (66% de la superficie), vegetación secundaria (12.5%), vegetación hidrofita (9.9%), selvas medianas y bajas con 3.7% (20,753.6 ha) y otros usos con 3.15% (cuerpos de agua, zonas urbanas, plantación agropecuaria). Entre 1970-1980 el hato estatal creció a expensas de los últimos reductos de selvas que se encontraban dispersos principalmente en los municipios de Balancán y Tenosique. En dicha zona el territorio se ordenó de acuerdo con un plan de sustitución de las selvas por pastizales implementado por el gobierno federal mexicano llamado Plan Balancán-Tenosique, sin tener en cuenta el impacto en los recursos naturales (Manjarrez *et al.* 2007, Cámara *et al.* 2011).

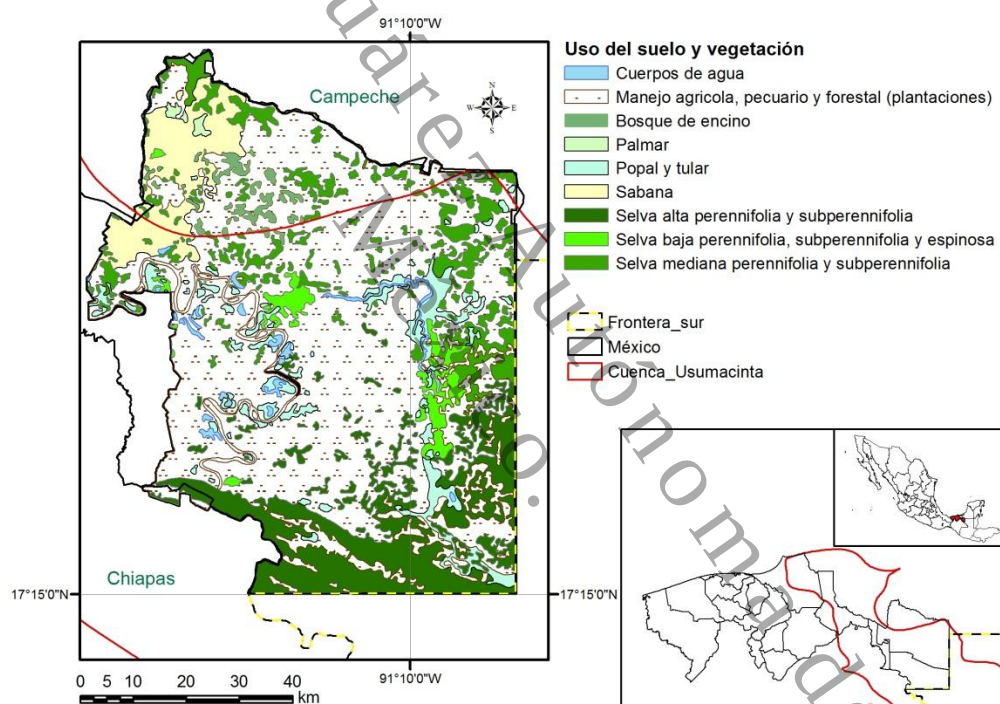


Figura 1. Uso del suelo y distribución de la vegetación en el área de estudio, ubicada en la cuenca del río Usumacinta en México.

2.3.2.-Selección de especies

Se seleccionaron quince especies nativas de la región de estudio, consideradas como especies arbóreas. Dicha selección fue motivada por el interés de repoblar una zona altamente deforestada del sureste mexicano donde anteriormente la selva era el ecosistema predominante. De cada especie se buscó información biológica como la dispersión y longevidad de las semillas, el tipo de crecimiento, función que cumple durante la sucesión, así como la dureza de la madera y si se encontraban en alguna

categoría de riesgo o amenazada de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010; de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); y de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

2.3.3.-Base de datos y distribución potencial

Las coordenadas de las 15 especies seleccionadas se obtuvieron a partir de datos obtenidos en campo; del herbario de la División Académica de Ciencia Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); de Pennington y Sarukhán (2005) y de la búsqueda realizada en las siguientes bases de datos:

- 1) REMIB de la CONABIO;
- 2) Global Biodiversity Information Facility (GBIF)

La búsqueda de especies en la base de datos se realizó por su existencia (*Occurrences*) con los filtros de búsqueda de nombre científico de las especies y país (México). La información obtenida de las coordenadas (latitud y longitud) de presencia de las especies se guardaron en formato (*.csv) compatible con Microsoft Excel 2007 y se descartaron las coordenadas repetidas en Maxent (opción por default).

Las capas bioclimáticas, edafología, regiones biológicas y uso de suelo y vegetación para todo México, se obtuvieron de CONABIO; mientras que las de la cuenca del río Usumacinta se obtuvieron de GeoWebRum del Centro GEO y del Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste (CCGSS) en mapas con formato *shapefile* para su posterior utilización en la distribución potencial y en la construcción de las comunidades sintéticas.

Se eligió el modelo de nicho Maxent por ser un software de libre acceso, por su facilidad para utilizarse en la obtención de distribuciones potenciales con pocos registros de ocurrencias de especies y por ser uno de los mejores métodos de modelación de distribución de especies (Phillips *et al.* 2006, Caranqui & Suárez-Duque 2012, García-Aranda *et al.* 2012). El software se corrió en su configuración default, obteniéndose mapas de salida con formato *raster*.

El software de manejo de Sistemas de Información Geográfica (GIS) ArcMap 10.1 se utilizó para generar la distribución potencial de cada especie. El formato *raster* de salida generado en Maxent para cada especie se exportó al GIS en formato TIFF. Primeramente, con el GIS se calculó el porcentaje de la probabilidad de presencia de la distribución obtenida en Maxent, discriminando los

porcentajes menores a 25% para conseguir mayor exactitud en las distribuciones potenciales de cada especie, dividiéndose los porcentajes en cuatro categorías: bajo (25-42%), medio (43-59%), alto (60-74) y muy alto (75-100%). Posteriormente, se generó un nuevo archivo *shape* uniendo las categorías medio, alto y muy alto para cada especie, mediante el comando *geoprocessing, dissolve*, con estos nuevos mapas (uno por especie) se generaron las comunidades sintéticas, que se elaboraron a partir de las especies que presentaron la mejor distribución potencial en la zona de estudio, donde el área de intersección se encontró utilizando el comando *geoprocessing, intersect* del software GIS. El proceso metodológico se muestra en la figura 2.

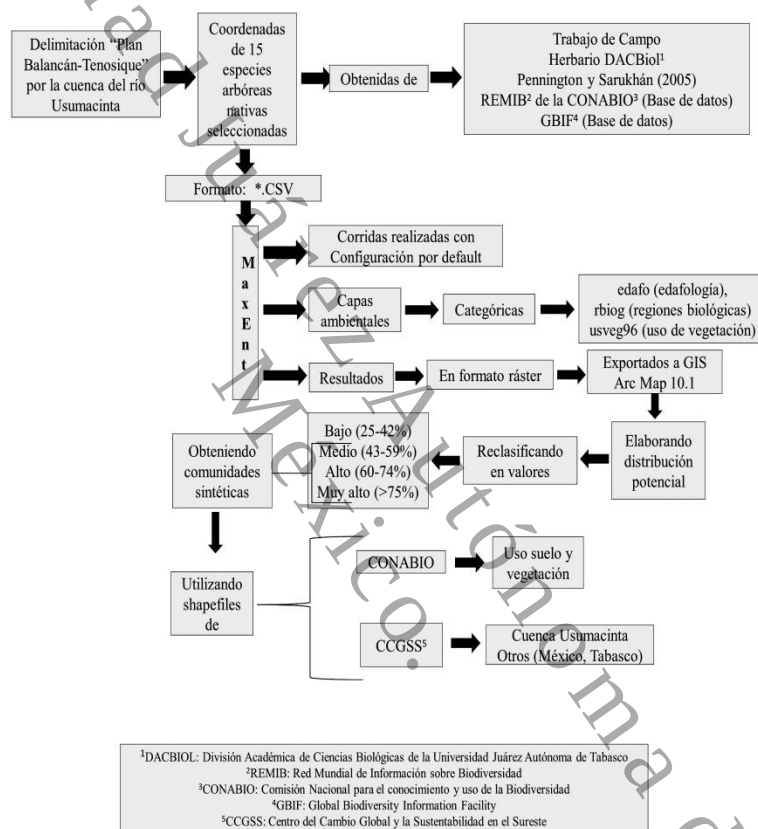


Figura 2. Diagrama metodológico para la obtención de las comunidades sintéticas arbóreas.

2.4.- RESULTADOS

En el cuadro 1 se presentan las 15 especies elegidas, siendo especies nativas de la zona este del estado de Tabasco y que tienen diversos usos, sobre todo maderables, por lo cual pueden ser de interés comercial. La superficie total del área de estudio corresponde a 3,732.8 km².

Cuadro 1. Especies nativas escogidas para el presente estudio.

Nombre científico	Nombre común	Área de intersección	AUC $p=0,5$	Norma de protección
-------------------	--------------	----------------------	----------------	---------------------

(km ²)				
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	Macuilis	3.651,1	0,933	
<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	3.638,8	0,939	
<i>Blepharidium mexicanum</i> Standl.	Popiste	3.551,4	0,991	
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	(Palo) Mulato	3.457,2	0,909	
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	3.342,8	0,961	
<i>Simarouba glauca</i> DC.	Zapatero	3.262,7	0,974	
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	Tinto	3.211,5	0,969	
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	Jabín	3.083,5	0,958	
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Bojón	2.851,7	0,943	Least concern LC (preocupación menor) Lista roja de la UICN de especies amenazadas
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand	Amapola	2.303,6	0,920	
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Jobillo	2.117,7	0,961	A (amenazada) NOM-059-SEMARNAT-2010
<i>Cordia dodecandra</i> DC.	Siricote	1.909,8	0,981	
<i>Swartzia cubensis</i> (Britton & Wilson) Standl.	Corazón azul	181,7	0,981	
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth.	Tzalam	177,1	0,979	
<i>Metopium brownei</i> (Jacq.) Urb.	Chechen	40,7	0,974	

Una de las especies, *A. graveolens* se encuentra en categoría A (amenazada) de la norma mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y que a la letra se define como “Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.” En el mismo contexto, la especie *C. alliodora* se encuentra en el status LC de la UICN (cuadro 1).

Las comunidades sintéticas obtenidas a partir de la distribución potencial de las especies nativas elegidas se presentan en el cuadro 2, donde es posible apreciar que el máximo de especies intersectadas es de 12, debido a que las especies faltantes (*L. latisiliquum*, *M. brownei*, *S. cubensis*) presentan un área de distribución muy pequeña en la región de estudio (cuadro 1), lo que reduce drásticamente el área de intersección de las diferentes especies.

Cuadro 2. Áreas resultantes de la formación de comunidades sintéticas usando las especies nativas escogidas.

Comunidad sintética	Número de especies	Superficie (km ²)	% total del área (3.732,8 km ²)
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> .	2	3.575,7	95,8
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> .	3	3.450,9	92,4
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> .	4	3.233,6	86,6
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> .	5	3.059,1	82,0
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> .	6	2.714,4	72,7
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> .	7	2.357,0	63,1
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> , <i>P. pisipula</i> .	8	2.274,6	60,9
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> , <i>P. pisipula</i> , <i>C. alliodora</i> .	9	1.979,4	53,0
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> , <i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> , <i>P. pisipula</i> .	10	1.429,6	38,3

<i>pisipula</i> , <i>C. alliodora</i> , <i>P. ellipticum</i> .			
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> ,	11	1.122,0	30,1
<i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> , <i>P. pisipula</i> , <i>C. alliodora</i> , <i>P. ellipticum</i> , <i>A. graveolens</i> .			
<i>T. rosea</i> , <i>S. mombin</i> , <i>B. mexicanum</i> , <i>B. simaruba</i> ,	12	599,8	16,1
<i>C. pentandra</i> , <i>S. glauca</i> , <i>H. campechianum</i> , <i>P. pisipula</i> , <i>C. alliodora</i> , <i>P. ellipticum</i> , <i>A. graveolens</i> , <i>C. dodecandra</i> .			

En la figura 3 se muestra la distribución potencial de *T. rosea*, obtenida a partir del archivo *raster* exportado de Maxent al GIS (figura 3a), así como el mapa generado después de realizar las intersecciones con las demás especies, donde se discriminaron las zonas con potencial de distribución bajo (figura 3b), acción que fue realizada para todas las especies.

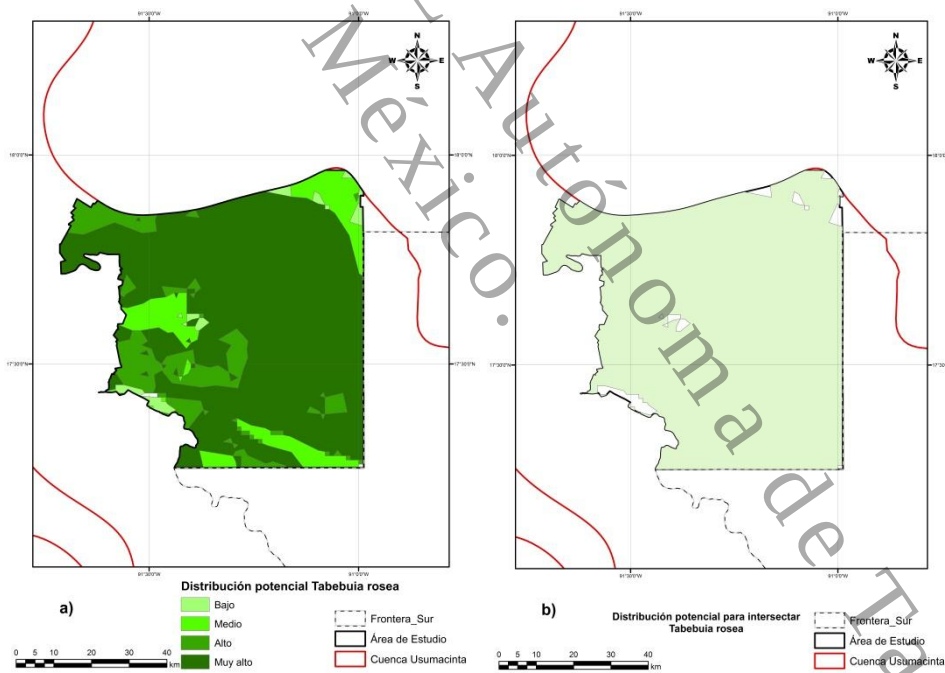


Figura 3. a) Mapa de la distribución potencial de *T. rosea* para diferentes porcentajes de probabilidad de ocurrencia de esta especie (bajo, medio, alto, muy alto). b) Lo mismo que a), pero sin el porcentaje bajo de probabilidad de ocurrencia.

La comunidad sintética formada por ocho especies (figura 4) que tiene el área de intersección (60,9%) es la más cercana a la media obtenida ($2.345,1 \text{ km}^2=62,8\%$) de las áreas de intersección de las

diferentes comunidades sintéticas (cuadro 2) por lo que se sugiere sea la elegida, ya que podría ser la más idónea para utilizarse con fines diversos tales como reforestación, enriquecimiento de la biodiversidad de la región, así como para planes de manejo forestal, con fines de utilización de plantaciones forestales o para utilizarse en enriquecimiento de plantaciones para realizar una reconversión pasando de monocultivos a policultivos, favoreciendo la biodiversidad del entorno, incluso en asociación con otros cultivos enfocándose hacia la agroforestería.

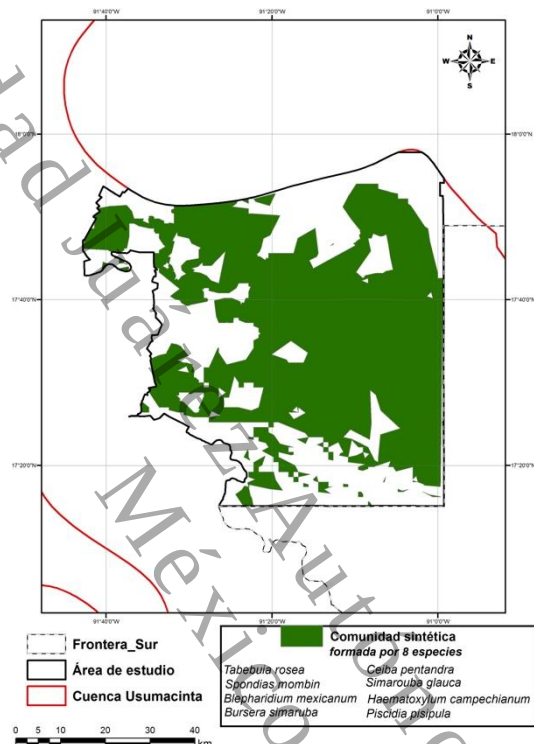


Figura 4. Comunidad sintética propuesta para los fines requeridos de los tomadores de decisiones.

La intersección de todas las especies no fue posible debido a que *S. cubensis*, *L. latisiliquum*, y *M. brownei* presentaron una distribución potencial restringida, por lo cual se construyó una comunidad sintética con las demás especies (figura 5), donde además de las especies sugeridas (figura 4) se incluyen cuatro especies adicionales además de la comunidad sintética formada por *S. cubensis*, *L. latisiliquum*, y *M. brownei* (figura 5), con lo cual se conseguiría una mayor diversidad arbórea.

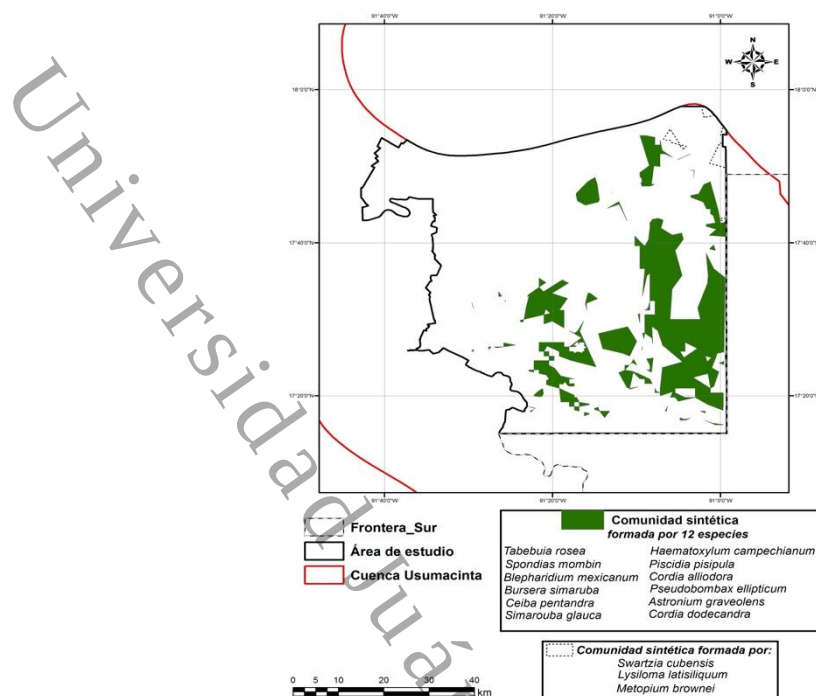


Figura 5. Comunidad sintética incluyendo especies con distribución potencial restringida.

2.5.- DISCUSIÓN

La zona estudiada puede ser apta para sistemas forestales implicando aspectos enfocados específicamente a la conservación de los recursos, no demeritando de ningún modo la posibilidad de que la región sea productiva y ambientalmente productiva, basándose en la sustentabilidad ecológica (desarrollo sustentable). Dicha superficie corresponde a lo que alguna vez fue una zona con vegetación de selva mediana de pukte (*Bucida buceras* L.) y selva baja de tinto (*H. campechianum*) (Cámara *et al.* 2011), con abundancia de árboles maderables, medicinales, y de otros tipos. En la zona de estudio Manjarrez *et al.* (2007) identificaron y propusieron cuatro unidades de ordenamiento ganadero: maderables y pastos, reserva y reforestación, arbustivas y pastos y policultivos. Por lo que el presente estudio puede contribuir para elegir especies nativas benéficas para su explotación comercial racional. Al respecto Cámara *et al.* (2011) sugieren utilizar plantaciones de *C. pentandra*, *T. rosea*, *L. latisiliquum*, *C. alliodora*, *P. ellipticum*, *B. mexicanum*, *B. simaruba*, *C. dodecandra* y *H. campechianum*, especies incluidas en la comunidad sintética formada por 12 especies (cuadro 2, figura 5) en el presente estudio, reiterando la potencialidad de la zona por sus suelos naturalmente con aptitud forestal.

Diversos autores comentan las características de las especies elegidas en este estudio: *A. graveolens* es pionero en la sucesión (fijando nitrógeno), considerada como una madera tropical dura; *C. pentandra* es una especie que aparece a finales de la sucesión; *C. alliadora* también es pionera y de larga duración y enlistada en la categoría LC de la UICN; *Tabebuia* sp. es de larga vida y pionera; todas estas especies con dispersión de semilla anemócora; *B. simaruba* también es pionera y su síndrome de dispersión es zoocora (pájaros y monos); *S. mombin* es pionera de larga vida, zoocora (murciélagos y monos); todas estas especies mencionadas son de rápido crecimiento y aportan madera (Taylor *et al.* 2008, Griscom y Ashton 2011). Sautu *et al.* (2006) mencionan otras características como la longevidad de la conservación de las semillas de *C. pentandra* (2 meses); *C. alliadora* (<1 mes); *S. mombin* (30 meses); *T. rosea* (11 meses); destacando la superioridad de *S. mombin* en la germinación, por lo que es necesario enfatizar la importancia de conocer la distribución potencial de las especies para que al inicio de los sistemas forestales como comunidades sintéticas se pueda recolectar semillas de diversos sitios para promover la variabilidad genética. La formación de las comunidades sintéticas arbóreas podría llevarse a la práctica ya que estas especies pueden coexistir debido a que son de selva mediana, la mayoría regenera de mejor manera después de los disturbios (inundaciones o incendios), prefieren suelos de origen calizo, entre otras características (cuadro 3) que permitirían diseñar plantaciones con el debido manejo forestal y diversos métodos silvícolas, con las especies del presente trabajo.

Cuadro 3. Principales características biológico-forestales de las especies utilizadas en el presente estudio.

Especie	Tolerancia a la sombra	Crecimiento	Monoecius/ Dioecius	Floración	Polinización	Dispersión de semillas	Preferencia de suelo	Otras
<i>T. rosea</i>	Intolerante-intermedio	Lento a moderado	Monoecius	Enero-mayo	Abejas	Anemócora	De origen calizo, gran variedad suelos	Madera usada para muebles
<i>S. mombin</i>	Intolerante	Moderado rápido	Dioecius					Soporta altitudes hasta 1.200 msnm; madera suave
<i>B. mexicanum</i>	Intermedia a tolerante	Lento a moderado	Monoecius	Julio-diciembre			Calcáreos	Soporta altitudes hasta 200-500 msnm. Madera dura
<i>B. simaruba</i>	Muy intolerante	Moderado a rápido	Monoecius o Dioecius	Febrero-agosto	Abejas	Zoócora (Aves y ardillas)		Madera suave; las estacas enterradas regeneran fácil; regenera mejor en sitios donde hubo extracción o incendios
<i>C. pentandra</i>	Intolerante, pero admite sombra en su juventud	Rápido	Monoecius	Diciembre-marzo	Murciélagos	Viento y agua	Arenosos con drenaje rápido hasta suelos arcillosos inundables	Madera blanda; crece mejor en bosques perturbados
<i>S. glauca</i>	Intolerante	Rápido a moderado	Dioecius	Febrero-abril	Polillas	Zoócora (Aves y mamíferos)	Derivados de materiales calizos	Soporta altitudes hasta 800 msnm. Madera blanda, no muy resistente con problemas de hongos q la manchan. Especies que prefiere áreas perturbadas por incendios, con humedad pero sin inundación
<i>H. campechianum</i>	Intolerante	Moderado o rápido	Monoecius	Septiembre-abril			Arcillosos susceptibles a inundarse	Madera resiste la pudrición
<i>P. pisipula</i>	Muy intolerante	Moderado o rápido	Monoecius	Mayo-julio	Abejas	Anemócora	Con poca capacidad de retención de humedad y de origen calizo	Soporta altitudes hasta 500 msnm. Madera dura, con problemas de secado. Especie abundante en zonas perturbadas
<i>C. alliodora</i>	Intolerante	Moderado o rápido	Monoecius	Agosto-abril				Soporta altitudes hasta 500 msnm. Madera de muy buena calidad
<i>P. ellipticum</i>	Intolerante	Moderado a rápido	Monoecius	Enero-junio	Murciélagos y aves	Anemócora	Profundos derivados de materiales calizos	Soporta altitudes hasta 500 msnm. Madera blanda. Aprovecha situaciones

								de disturbio (incendios)
<i>A. graveolens</i>		Intermedio	Dioecius	Marzo-mayo			De origen calizo y en derivados de materiales aluviales	Madera para construcciones
<i>C. dodecandra</i>	Intolerante a intermedia	Lento-moderado	Monoecius	Octubre-enero	Colibríes y murciélagos	Zoócora	Pobres y someros	Soporta altitudes hasta 500 msnm. Recomendada para muebles de alta calidad, internacionalmente ha alcanzado precios superiores a caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>) y cedro (<i>Cedrela odorata</i>); madera se agrieta con facilidad
<i>S. cubensis</i>	Intolerante	Lento a moderado	Monoecius	Febrero-mayo	Abejas	Zoócora (Monos y aves)	Derivados de material calizo	Madera dura; prefiere zonas perturbadas por incendios
<i>L. latisiliquum</i>	Intolerante	Moderado o rápido	Monoecius	Marzo-junio	Abejas	Lanzamiento del fruto	Origen sedimentario; en calcáreos, y someros con rocas calizas aflorantes	Madera dura recomendada para muebles de alta calidad; especie que regenera bien después de incendio
<i>M. brownei</i>	Intolerante	Moderado a rápido	Monoecius	Marzo-mayo	Abejas	Zoócora (Aves)	Someros de buen drenaje superficial y en suelos profundos arcillosos q soportan inundaciones	Se asocia con <i>B. simaruba</i> . Especie que resiste a los fuegos y regenera bien en bosque maduro y áreas extensas de perturbación. Buena madera, resiste ataque termitas

Pennington y Sarukhán 2005, Sorensen 2006, Vester y Navarro 2007, Cámara *et al.* 2011.

Muchas de las áreas despejadas pueden estar atravesando estados de transición, por lo que podrían realizarse intentos para reforestarlas y así complementar la regeneración natural de las especies con la plantación de enriquecimiento, o mediante el uso de las plantaciones de árboles como especulan Griscom y Ashton (2011) por lo que el territorio podría albergar nuevamente bosques tropicales, debido a la capacidad de las especies nativas para regenerarse después del corte. También ellos sugieren que las plantaciones son una buena opción para las tierras que han perdido casi todos los remanentes de bosque nativo, donde los suelos y la vegetación han cambiado a nuevos estados de la estructura y función. Una práctica de este tipo puede aumentar los ingresos económicos para los colonos de esos sitios, con especies maderables como *Tabebuia* sp. El enriquecimiento de la zona con árboles como *B. simaruba*, contribuiría a la atracción de especies animales debido a su fruto, aumentando la biodiversidad del ecosistema (Griscom y Ashton 2011). En Yucatán, México, se sugiere la utilización de *C. dodencandra*, en sitios donde existan estados de sucesión temprana, utilizándola en programas de enriquecimiento de la vegetación avanzada y reforestación. En el caso del estado sucesional medio pueden utilizarse especies como *L. latisiliquum* y *P. piscipula*, mientras que para el estado sucesional avanzado se sugiere utilizar especies como *L. latisiliquum*. Por ello la presencia de *L. latisiliquum* y *P. piscipula* es un indicativo de que la vegetación se encuentra en un proceso de desplazamiento de las especies pioneras (Yam-Chin *et al.* 2014). Desde la perspectiva de desarrollo sustentable, Toledo-Aceves *et al.* (2009) en la selva maya en Quintana Roo, México encontraron que *S. glauca* y *C. dodecandra* se pueden considerar como especies de alto valor comercial; *S. cubensis*, *B. simaruba* y *M. brownei* son especies intolerantes a la sombra (Sorensen 2006; Vester y Navarro 2007). Lo cual recalca la importancia de las especies utilizadas para el presente estudio de distribución potencial y generación de comunidades sintéticas. En Costa Rica se han propuesto sistemas cacao-maderables como una alternativa para satisfacer las necesidades de subsistencia de los agricultores, obteniendo ingresos adicionales y mejorando al mismo tiempo la capacidad del agroecosistema para proporcionar otros servicios ambientales, por lo que sugirieron para tal fin, el uso de *C. alliadora*, por ser un árbol de rápido crecimiento y con buena calidad de madera para la fabricación de muebles, además de que se regenera naturalmente en sitios despejados (Somarriba *et al.* 2014). Este árbol se encuentra asociado con pastizales,

mientras que las zonas fragmentadas están dominadas por árboles como *T. rosea* (Griscom y Ashton 2011).

En otro contexto, la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal no comestible es una de las maneras eficaces para superar los problemas asociados con la crisis de la energía y el medio ambiente. El aceite de las semillas de *C. pentandra* no es comestible, pero ha sido utilizado como una fuente nueva en la producción de biodiesel, no compitiendo con ningún tipo de aceite vegetal comestible o grasa animal, además esta especie puede desarrollarse en terrenos baldíos y se le puede considerar como un árbol resistente a la sequía. Entre otros usos la fibra de sus frutos se usa para el llenado de colchones, cojines y también para fabricar salvavidas. La producción de biodiesel de *C. pentandra* podría ser un valor agregado a los productos agrícolas subutilizados (Sivakumar *et al.* 2013). En este mismo argumento, se ha sugerido la utilización de *S. glauca* ya que puede servir como una buena alternativa para la producción de biodiesel mediante la obtención de aceite, bajo el concepto de sostenibilidad, coadyuvando a reducir las emisiones de NO_x (Garlapati *et al.* 2013); además de esta especie también se han logrado aislar compuestos contra varios tipos de cáncer, sin dejar de mencionar el potencial maderable que tiene (Vester y Navarro 2007; Ong *et al.* 2013; Alves *et al.* 2014).

Sprenger *et al.* (2013) sugieren que la plantación de mezclas de pioneros y especies de árboles tolerantes a la sombra lleva a índices de filtración de agua al suelo moderados, ya que las alturas de los árboles y la apertura del dosel, están compensadas en comparación con los monocultivos de cualquiera de las especies arbóreas de crecimiento rápido o lento. También los árboles afectan a las aguas subterráneas a través de la evaporación, absorción de agua por la raíz, y la interceptación de la lluvia de acuerdo a su altura, la apertura del dosel, y la biomasa. Por lo tanto este tipo de plantación podría ayudar a mitigar los efectos de las inundaciones catastróficas, como la ocurrida en el río Usumacinta en 2008, lo que manifiesta la falta de una política pública integral en cuencas hidrográficas, donde se planifiquen y ejecuten acciones tendientes a la conservación de los tres elementos que conforman el marco de estos territorios: suelo, agua y cubierta vegetal. Estas tres variables son la premisa o el eje central que deberían ser considerados para planificar asentamientos humanos y las diversas actividades inherentes al desarrollo (García y Kauffer 2011).

La formación de las comunidades sintéticas se ajusta a las necesidades de los tomadores de decisiones en el sentido que pueden disponer de mayor área, pero con pocas especies; aunque si lo que se pretende es crear zonas con mayor biodiversidad, entonces será menor el área donde puedan estar presentes más especies pero que puedan estar intercaladas con las de mayores áreas de distribución. Los resultados obtenidos mediante la distribución potencial de las especies y la posterior elaboración de las comunidades sintéticas son de gran utilidad para planear bien las prácticas de conservación, y de enriquecimiento del hábitat (mayor biodiversidad) gestionando de mejor manera los recursos destinados para tal fin, a la vez que se permite la inclusión de actividades económicas relacionadas con el aprovechamiento sustentable de dichas especies en proyectos a largo plazo, pero bien planificados desde el principio, con planes de manejo forestal para especies tropicales y adaptados para la zona de estudio.

2.6.- CONCLUSIONES

Se determinaron las distribuciones potenciales de quince especies nativas escogidas de la zona de Balancán y Tenosique, Tabasco, México con el modelo de nicho Maxent. *A. graveolens* se encuentra en categoría A (amenazada) en la norma mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. En el mismo contexto, *C. alliodora* en el status LC (preocupación menor) de la UICN. Por lo que se recomienda prestar particular atención a estas dos especies y así planear acciones para su conservación antes de poder ser utilizadas en demandas económicas o de desarrollo sustentable. A partir de las distribuciones potenciales de las especies seleccionadas se construyeron comunidades sintéticas arbóreas, proponiéndose la utilización de las especies que presentaron mayor distribución potencial (cuadro 1) y en segunda instancia las especies con menor distribución potencial de acuerdo a las necesidades del área de estudio. Los gestores forestales, conservacionistas y los tomadores de decisiones en general deben considerar estudios de este tipo para tomar las mejores decisiones respecto al adecuado manejo de los recursos forestales potenciales en zonas deforestadas.

2.7.- AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por parte del CONACYT por la beca de maestría por un año (Agosto 2014-Julio 2015) y del CCGSS mediante el proyecto TAB-2012-C-28-194316 titulado “Retos para la sustentabilidad en la Cuenca del Río Usumacinta en Tabasco: ecosistemas, cambio climático y respuesta social” aprobado por el Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT- Gobierno del Estado de Tabasco, para la realización de los trabajos en campo, así mismo al posgrado de Ciencias Ambientales de la DACBiol-UJAT y a las personas que colaboraron en las salidas a la zona de estudio.

2.8.- REFERENCIAS

Alves IA, Miranda HM, Soares LA, Randau KP. 2014. Simaroubaceae family: botany, chemical composition and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia* 24(4): 481-501. DOI: 10.1016/j.bjp.2014.07.021.

Cámara CLC, Hernández TH, Castillo AO, Galindo AA, Morales A, Zequeira LC, Rullán FC, Jesús GMC, Gama CLM, Cappello GS, Ángeles GM. 2011. Estudio regional forestal de la UMAFOR de los Ríos. DACBiol, UJAT, CONAFOR. 280 p.

Caranqui J, & Suarez D. 2012. Conservación y Estado Poblacional de *Grosvenoria campii* RM King & H. Rob.(Asteraceae) en Ecuador. *Q'EUÑA* 5: 17 – 24.

Barros FSM, Siqueira MF, Costa DP. 2012. Modeling the potential geographic distribution of five species of *Metzgeria* Raddi in Brazil, aiming at their conservation. *Bryologist* 115:341-349.

De Cauwer V, Muys B, Revermann R, Trabucco A. 2014. Potential, realised, future distribution and environmental suitability for *Pterocarpus angolensis* DC in southern Africa. *Forest Ecology and Management* 315:211-226. DOI:10.1016/j.foreco.2013.12.032.

FAO. 2012. El estado de los bosques del mundo. Roma. Italia. 50 p.

García-Aranda MA, Cantú-Ayala C, Estrada-Castillón E, Pando-Moreno M, & Moreno-Talamantes A. 2012. Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (taxaceae) en México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 6(2): 587 – 598.

García GA, Kauffer MEF. 2011. Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera norte* 23(45):131-161.

Garlapati VK, Kant R, Kumari A, Mahapatra P, Das P, Banerjee R. 2013. Lipase mediated transesterification of Simarouba glauca oil: a new feedstock for biodiesel production. *Sustainable Chemical Processes*, 1(1):11. DOI: 10.1186/2043-7129-1-11

Griscom HP, Ashton MS. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* 261(10):1564-1579. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.08.027.

Manjarrez MB, Hernández DS, de Jong B, Nahed TJ, de Dios VOO, Salvatierra ZEB. 2007. Configuración territorial y perspectivas de ordenamiento de la ganadería bovina en los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco. *Investigaciones geográficas* 64:90-115.

Márquez IS, de Jong B, Eastmond A, Ochoa GS, Hernández S, Sandoval JL. 2008. Programas gubernamentales y respuestas campesinas en el uso del suelo: el caso de la zona oriente de Tabasco, México. *Región y sociedad* Vol.XX 43:97-130.

Moreno SR, Moreno-Sanchez F, Torres-Rojo JM. 2011. National assessment of the evolution of forests fragmentation in Mexico. *Journal of Forestry Research* 23(4): 529-541. DOI: 10.1007/s11676-011-0145-0.

Ong HC, Silitonga AS, Masjuki HH, Mahlia TMI, Chong WT, Boosroh MH. 2013. Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha*

curcas, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*. *Energy conversion and management* 73:245-255. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.04.011.

Pennington TD, Sarukhán J. 2005. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México. 523 p.

Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190(3):231-259. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.

Sautu A, Baskin, JM Baskin, Carol C, Condit R. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management*, 234(1):245-263. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.07.006.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección)* 1-77.

Sivakumar P, Sindhanaiselvan S, Gandhi NN, Devi SS, Renganathan S. 2013. Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized *Ceiba Pentandra* oil. *Fuel*, 103:693-698. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.06.029.

Somarriba E, Suárez-Islas A, Calero-Borge W, Villota A, Castillo C, Vélchez S, Deheuvels O, Cerda R. 2014. Cocoa-timber agroforestry systems: *Theobroma cacao*–*Cordia alliodora* in Central America. *Agroforestry Systems* 88(6):1001-1019. DOI: 10.1007/s10457-014-9692-7.

Sorensen NS. 2006. Regeneration and growth of seven canopy tree species in the Mayan forest of Quintana Roo, Mexico: the role of competition and microhabitat conditions. Oregon State University. 278 p. Ph.D. dissertation.

Sprenger M, Oelmann Y, Weihermüller L, Wolf S, Wilcke W, Potvin C. 2013. Tree species and diversity effects on soil water seepage in a tropical plantation. *Forest Ecology and Management* 309:76-86. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.03.022.

Taylor AM, Freitag C, Cadot E, Morrell JJ. 2008. Potential of near infrared spectroscopy to assess hot-water-soluble extractive content and decay resistance of a tropical hardwood. *Holz als Roh-und Werkstoff* 66(2):107-111.

Toledo-Aceves T, Purata-Velarde S, Peters CM. 2009. Regeneration of commercial tree species in a logged forest in the Selva Maya, Mexico. *Forest ecology and management* 258(11):2481-2489. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.08.033.

Tudela F. 1992. De la ilusión a la realidad: los grandes planes agroproductivos. In *La modernización forzada del trópico: el caso tabasqueño, Proyecto Integrado del Golfo, El Colegio de México, CINVESTAV, IFIAS, UNRISD, México*. p. 191-233.

Vázquez NI, Castillo AO, Valdez HJI, Zavala CJ, Martínez SJL. 2011. Estructura y composición florística de la selva alta perennifolia en el ejido Niños Héroes Tenosique, Tabasco, México. *Polibotánica* 32:41-61.

Vessella F, Schirone B. 2013. Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. *Forest Ecology and Management* 304: 150–161. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.05.006.

Vester HFM. Navarro-Martínez MA. 2007. Fichas ecológicas: árboles maderables de Quintana Roo. Mexico: ECOSUR, CONABIO, Gobierno de Quintana Roo, COQCYT. 139 p.

Yang XQ, SPS Kushwaha, S Saran, JC Xu, PS Roy. 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering* 51:83–87. DOI:10.1016/J.Ecoleng.2012.12.004.

Yam-Chin C, Montañez-Escalante P, Ruenes-Morales R. 2014. Crecimiento de plantas jóvenes de *Cordia dodecandra* (Boraginaceae) en tres etapas sucesionales de vegetación en Calotmul, Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(2):589-597. DOI: 10.7550/rmb.34996

Internet:

<http://www.iucnredlist.org/amazing-species>

<http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>

www.gbif.org

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

<http://www.geowebrum.org/index.php/acervo/shape-cartografico>

<https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>