



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LAS POBLACIONES DE
ASTRONIUM GRAVEOLENS JACQ. EN LA PENÍNSULA
DE YUCATÁN**

TESIS

Para obtener el grado de

LICENCIADA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

MAGDALENA GENOVEVA GÓMEZ MORALES

DIRECTORA

BIÓL. TERESA ALFARO REYNA

ASESORES

M.C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ
LIC. GREGORIO MARIO RAMÍREZ GIL
M.C. JUAN ANTONIO RODRÍGUEZ GARZA
M.E. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingenierías

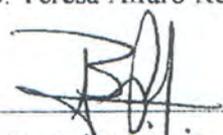
Tesis elaborada bajo la supervisión del comité del programa de Licenciatura y
aprobada como requisito para obtener el grado de:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TESIS

Directora: 

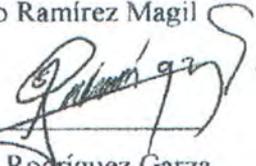
M.C. Teresa Alfaro Reyna

Asesor titular: 

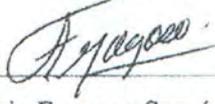
M.C. Benito Prezas Hernández

Asesor titular: 

Lic. Gregorio Mario Ramírez Magil

Asesor suplente: 

M.C. Juan Antonio Rodríguez Garza

Asesor suplente: 

M.E. Patricia Frago Servón



Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no rendirme ante los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin nunca perder la dignidad.

A mis padres Manuel Gómez Pérez y Maritza Morales Javier por su apoyo constante, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y sobre todos por darme los recursos necesarios para estudiar.

A mi esposo Samuel Castillo Avila y a mi hija Zacil Belen Castillo Gómez por estar presentes en cada momento de felicidad, tristeza, angustia, desvelos y sobre todo el apoyo incondicional que me dieron para que este sueño se haya hecho realidad.

Agradecimientos

A mis queridos padres que me brindaron los estudios necesarios para que hoy en día culmine un logro más en mi vida. Gracias a ellos por el apoyo constante e incondicional que me dedicaron en toda mi vida; por los consejos, los regaños y el amor que me supieron dar. En especial quiero expresar mi gratitud a mi madre, por ser mi amiga y compañera que me ha ayudado a crecer y por la paciencia que has tenido en todo momento.

A mi amado esposo por ser mi compañero inseparable que gracias a su comprensión y amor incondicional me ayudaron a finalizar esta meta aún cuando parecía imposible, gracias por motivarme a seguir y sobre todo haber creído en mi persona. A mi querida y amada hija por haber estado simplemente a lado de mi en horas de desvelos.

Un agradecimiento sincero a la M.C. Teresa Alfaro Reyna por ser mi directora de tesis y por haberme dado la oportunidad de formar parte en el proyecto de Cambio climático en especies forestales de importancia económica como tesista, que por su dedicación, tiempo y asesoría hicieron posible la culminación de este proyecto de investigación.

Al M.C. Bartolo Santiago Rodríguez que por sus grandes aportaciones hechas a través de las recomendaciones y observaciones durante el proceso de este trabajo, así como el tiempo que me dedico y las enseñanzas que me transmitio en todo momento, en especial en la parte forestal.

Al LMRN. Gregorio Mario Ramírez Magil por haber aceptado ser parte de mi comité de tesis como asesor, gracias por el tiempo dedicado a la revisión del manuscrito, por las observaciones, recomendaciones, asesorías y sobre todo por la paciencia que me brindó en el desarrollo de la tesis.

A Pedro Uitz Huchin por haber apoyado en la obtención de la información en la parte de dendrometría que contiene para este fin, También al Lic. José L. Murrieta Bautista por el apoyo en la elaboración de los mapas obtenidos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca, que gracias a ese valioso apoyo se hizo posible finalizar mi titulación.

A la Universidad de Quintana Roo por haberme cobijado cinco años de mi vida, donde conocí a mis maestros que fueron parte de mi formación, en especial al M.C. Benito Prezas Hernández por las observaciones y los consejos que me brindó en las revisiones del manuscrito. De igual manera a la M.E. Patricia Fragoso Servón y al M.C. Juan Antonio Rodríguez Garza que se tomaron un momento de su tiempo para revisar y dar objetivamente sus observaciones.

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introducción..... | 1 |
| 2. | Antecedentes..... | 2 |
| 3. | Planteamiento del problema | 5 |
| 4. | Justificación | 6 |
| 5. | Objetivos..... | 7 |
| 5.1 | Objetivo general | 7 |
| 5.2 | Objetivos particulares | 7 |
| 6. | Hipótesis | 7 |
| 7. | Marco teórico..... | 8 |
| 7.1 | Modelos de distribución | 8 |
| 7.2 | Estructura arbórea..... | 9 |
| 7.3 | Generalidades de la especie <i>Astronium graveolens</i> Jacq. | 10 |
| 7.3.1 | Distribución | 11 |
| 7.3.2 | Ecología del árbol..... | 11 |
| 7.4 | Usos de la madera..... | 11 |
| 8. | Área de estudio | 13 |
| 8.1 | Caracterización del área de estudio | 13 |
| 8.1.1 | Clima | 13 |
| 8.1.2 | Suelos | 14 |
| 8.1.3 | Vegetación | 15 |
| 9. | Materiales y Métodos | 15 |
| 9.1 | Recopilación de la información..... | 15 |
| 9.1.1 | Formación de la base de datos..... | 16 |
| 9.1.2 | Homogenización y depuración de la base de datos | 16 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.2 | Estimación de los estadísticos básicos..... | 17 |
| 9.2.1 | Estimación de las existencias reales por hectárea | 17 |
| 9.2.2 | Estimación de la estructura diamétrica y de alturas | 18 |
| 9.3 | Datos bioclimáticos | 18 |
| 9.3.1 | Modelación de la distribución | 19 |
| 9.3.2 | Extracción de variables bioclimáticas | 20 |
| 10. | Resultados y discusiones | 22 |
| 10.1 | Densidad y estructura arbórea | 22 |
| 10.2 | Estructuras diamétricas y de alturas por tipos de vegetación | 26 |
| 10.3 | Distribución geográfica actual..... | 30 |
| 10.4 | Requerimientos agroecológicos de <i>Astronium graveolens</i> en la Península de Yucatán..... | 32 |
| 11. | Conclusiones..... | 35 |
| 12. | Referencias Bibliográficas..... | 36 |

Índice de cuadros

| | | |
|------------------|--|----|
| Cuadro 1. | Variables bioclimáticas..... | 19 |
| Cuadro 2. | Superficie, densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación de <i>A. graveolens</i> en la Península de Yucatán. | 22 |
| Cuadro 3. | Densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación por Estado de <i>A. graveolens</i> en la Península de Yucatán. | 23 |
| Cuadro 4. | Características promedios de los árboles de <i>A. graveolens</i> por tipo de vegetación en la Península de Yucatán..... | 24 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 5. Superficie, densidad, area basal y volumen por tipo de vegetación de <i>A. graveolens</i> en la Península de Yucatán. | 25 |
| Cuadro 6. Superficie, densidad, area basal y volumen por tipo de vegetación de <i>A. graveolens</i> en la Península de Yucatán. | 26 |
| Cuadro 7. Categorías diamétricas de <i>A. graveolens</i> por tipos de vegetación..... | 27 |
| Cuadro 8. Categorías de alturas de <i>Astronium graveolens</i> por tipo de vegetación..... | 29 |
| Cuadro 9. Aportacion en porcentaje para cada variable agroecológica. | 32 |
| Cuadro 10. Condiciones agroecológicas de <i>Astronium graveolens</i> en la Península de Yucatán | 33 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del área de estudio, Península de Yucatán. | 13 |
| Figura 2. Estructura diamétrica de <i>Astronium graveolens</i> en la Península de Yucatán.. | 28 |
| Figura 3. Estructura Vertical de <i>Astronium graveolens</i> en la Península de Yucatán..... | 29 |
| Figura 4. Distribución geográfica de <i>Astronium graveolens</i> (Jobillo) en la Península de Yucatán..... | 31 |

1. Introducción

La Península de Yucatán se encuentra formada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Se caracteriza por la presencia de selvas tropicales dentro de las cuales encontramos selvas baja caducifolias, mediana subcaducifolia y mediana subperenifolia. Estas selvas son de gran importancia debido a la gran diversidad de especies que albergan en términos de biodiversidad y en oferta de bienes y servicios ambientales, son una parte sustancial de la fuente de ingresos económicos que representan sus recursos maderables, y de sustento para la población local.

Hoy en día las selvas se ven afectadas en gran medida por el cambio de uso de suelo, actividades agropecuarias, deforestación, sobreexplotación y cambio global lo cual conlleva a la pérdida del hábitat, siendo una de las principales causas de la extinción a gran escala de la biodiversidad (Cushman, 2006). Ante esto es necesario realizar esfuerzos que nos encaminen a generar estrategias para la protección del hábitat a través de métodos sustentados en evidencias científicas (Murphy *et al.*, 1990).

Para el desarrollo de estrategias de conservación y aprovechamiento de especies de flora y fauna se han desarrollado numerosas herramientas de los sistemas de información geográfica, dentro de los cuales podemos encontrar a los modelos de distribución de especies. Estos métodos utilizan las condiciones ambientales para construir modelos que permitan localizar otras áreas potencialmente convenientes para las mismas (Jarvis *et al.*, 2005), estos modelos predictivos están basados en la teoría del nicho ecológico.

Se plantea trabajar con la especie arbórea *Astronium graveolens* mejor conocida en la región como Jobillo. Actualmente se encuentra en la categoría de amenazada (A) en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. El objetivo de este estudio de investigación fue realizar la caracterización de las poblaciones de *Astronium graveolens*, además de identificar la distribución actual, con la finalidad de conocer mejor las

condiciones ambientales que favorecen su crecimiento, así como el desarrollo de estrategias de conservación y manejo del recurso.

2. Antecedentes

El hombre ha ejercido una presión y ha producido perturbaciones sobre el medio desde tiempos remotos. Hoy en día las actividades humanas están provocando uno de los conflictos ambientales más graves a los que ha tenido que enfrentarse la humanidad (Hoekstra *et al.*, 2005). La extinción de especies es un proceso natural, sin embargo, en las últimas décadas hemos elevado la velocidad de desaparición de especies en forma exponencial (Loreau *et al.*, 2006).

La creación de espacios protegidos es uno de los procedimientos más adecuados para asegurar la persistencia de la biodiversidad. Los cuales deben estar basados en la comprensión de los patrones espaciales de la diversidad biológica. Anteriormente para encontrar estos espacios se empleaban métodos con la cartografía para tipos de vegetación, sustratos ecológicos, datos climáticos e imágenes por satélite (Ferrier *et al.*, 2002).

A lo largo del tiempo, los avances tecnológicos se han ido desarrollando, por lo que actualmente, la creación de espacios protegidos ha ido evolucionando creando nuevas herramientas por parte de los sistemas de información geográfica (SIG), los llamados modelos de distribución de especies (Guisan y Zimmermann, 2002).

Los modelos de distribución de especies también llamados modelos idóneos se basan fundamentalmente en los nichos ecológicos, este tipo de herramientas se encargan de modelar el nicho ecológico con la finalidad de encontrar los sitios disponibles para la especie con base a los puntos de presencia (Hijmans *et al.*, 2005).

El concepto del nicho ecológico más aceptado es el propuesto por Hutchinson (1957), que distingue entre nicho fundamental y el nicho realizado. El fundamental es el espacio ecológico donde la especie, en efecto puede vivir, mientras que el realizado es el espacio ecológico y geográfico donde la especie, en efecto vive.

Estas herramientas del SIG no sólo se han desarrollado para encontrar un espacio óptimo para que la especie pueda vivir, sino también para generar políticas de conservación y manejo. La creación de estos modelos van en aumento por el controversial tema del cambio climático que cada vez es más evidente (IPPC, 2007). El cual afecta a las áreas geográficas que corresponde a los biomas, ecosistemas y nichos ecológicos, que probablemente a corto plazo afectará la distribución natural de muchas especies.

Existen publicaciones científicas en diferentes aspectos ecológicos y sobre diferentes tipos de especies y ecosistemas que han contribuido al desarrollo de estas herramientas capaces de modelar la distribución potencial de las especies biológicas (Martínez *et al.*, 2004).

En los últimos años la especie maderable *Aniba perutilis* ha presentado una sobreexplotación de su madera, de modo que requerían desarrollar estrategias de conservación y manejo. Es por ello que utilizaron los modelos de predicción para los enfoques de conservación. Los programas empleados para este estudio fueron DOMAIN, BIOCLIM, GARP y MAXENT (Hurtado, 2007).

En Colombia se realizó una investigación con la modelación de la distribución potencial para las especies maderables de Cedro (*Cedrela odorata*) y el Cocolo (*Dalbergia retusa*), con la finalidad de reducir la tasa de pérdida de biodiversidad y fomentar la conservación de la biodiversidad (Cárdenas *et al.*, 2011).

En la Península de Yucatán, se evaluaron nueve especies forestales de interés económico y ecológico, que actualmente se encuentran en algún estatus de protección, según la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010. Se determinó su distribución actual para generar criterios que ayuden a definir estrategias para la conservación y manejo a un largo plazo. Para la obtención de los modelos idóneos utilizaron el software MAXENT (Máxima entropía) y el área bajo la curva (AUC) para la validación de modelos, asimismo se utilizó la prueba de Jackknife para medir la importancia de cada variable (Maximiliano *et al.*, 2011).

Por otra parte en el estado de Oaxaca, se han desarrollado estudios de distribución geográfica con la especie *Panthera onca*, bajo el estatus de peligro de extinción (PA), utilizaron modelos de idoneidad con la finalidad de reducir el impacto a su hábitat. Desarrollando estrategias para mitigar los daños ocasionados e implementar estrategias de conservación (Briones y Lavariega, 2012).

El uso de los modelos de idoneidad nos sirven como herramientas para la generación de estrategias y manejo de conservación para las especies, con la finalidad de evitar su pérdida total en el ambiente.

3. Planteamiento del problema

La Península de Yucatán está cubierta con selvas tropicales (perennifolias y caducifolias). Estas selvas generan servicios ambientales tales como el hídrico, secuestro y almacenamiento de carbono, conservación de la biodiversidad, protección de legados naturales e históricos, además, constituyen una fuente importante de recursos forestales maderables y no maderables.

Sin embargo, esta zona en los últimos años se ha visto afectada por cambios de uso de suelo, incendios forestales, tala clandestina, crecimiento de las zonas urbanas y agropecuarias, aunado a esto la Península de Yucatán por su ubicación geográfica, continuamente se ve afectada por fenómenos naturales como ciclones y tormentas tropicales. Estos cambios están causando la fragmentación de los habitats y la reducción de las poblaciones arbóreas de algunas especies.

Por lo que es necesario conocer el estado de las poblaciones naturales de las especies forestales y particularmente las que se encuentran en algún estatus de protección de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana-059 SEMARNAT-2010. Ya que la falta de información, implica una desventaja para desarrollar criterios que permitan definir acciones y estrategias de aprovechamiento, manejo y conservación a largo plazo. Por lo tanto, conocer el estado de las poblaciones y en particular de las especies protegidas permite tener claridad y sustento científico que permita el mejor uso de estas especies.

Por lo anterior se plantea trabajar con la especie *Astronium graveolens* la cual es una especie catalogada en la NOM-059 en la categoría de amenazada. Con el objetivo de realizar una caracterización de sus poblaciones además de identificar la distribución actual de la especie con la finalidad de conocer mejor las condiciones ambientales que favorecen su crecimiento.

4. Justificación

Astronium graveolens está incluida en la Norma Oficial Mexicana desde el año 1994 con la categoría de amenazada (A), lo que indica que sus poblaciones podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo. Esta especie forestal es de gran importancia en la Península de Yucatán debido al interés económico y ecológico que posee, ya que su madera es aprovechada para construcciones por ser una madera dura y por presentar propiedades curativas (Pennington y Sarukhán, 1998), también por ser una parte fundamental en la captura del carbono, para la producción del oxígeno entre otras.

El propósito de esta investigación fue identificar las poblaciones de *Astronium graveolens*, con la finalidad de conocer cómo y dónde están sus poblaciones, además de identificar aquellas áreas que reúnan las condiciones necesarias para que la especie pudiera establecerse con base a sus características intrínsecas.

Al conocer el estado actual de las poblaciones se podrán establecer bases sólidas que permitan definir acciones y estrategias de conservación a largo plazo para mitigar los daños ocasionados a éstas.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Conocer la estructura arbórea de las poblaciones de *Astronium graveolens* Jacq. y generar el modelo de distribución geográfica en la Península de Yucatán.

5.2 Objetivos particulares

- 1) Determinar la estructura arbórea y densidad de las poblaciones de *Astronium graveolens*.
- 2) Identificar el patrón de distribución geográfica de *Astronium graveolens*.

6. Hipótesis

La estructura arbórea y el patrón de distribución de las poblaciones de *Astronium graveolens* en la Península de Yucatán están influenciadas por las condiciones agroecológicas.

7. Marco teórico

7.1 Modelos de distribución

En los últimos tiempos se ha generalizado una nueva herramienta que permite analizar objetivamente los patrones espaciales de presencia/ausencia de organismos, los cuales son los modelos de distribución de especies, basados en procedimientos estadísticos y cartográficos, que partiendo de datos reales de presencia permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales (Mateo *et al.*, 2011).

Los modelos predictivos son también conocidos como modelos de nicho o modelos de idoneidad de hábitat. Todos están basados en fundamentos matemáticos. De lo cual se basan para encontrar aquellos lugares del espacio geográfico que reúnen las condiciones ambientales capaces de soportar una población de una especie.

Estos modelos estadísticos basados en el nicho ecológico permiten determinar la distribución espacial de las especies basándose en datos de presencia y ausencia (Guisan y Zimmermann, 2000). La capacidad predictiva que poseen estos modelos de idoneidad al proyectar el espacio geográfico en el pasado y en el futuro, han generado nuevas técnicas y herramientas en la actualidad, generando así un nuevo trabajo en la disciplina biogeográfica (Guisan y Thuiller, 2005)

Existen cuatro categorías de modelación de la distribución geográfica de las especies. De las cuales la primera corresponde a los modelos estadísticos de regresiones (Guisan *et al.*, 2002), que están basados en regresiones múltiples, la cual permite determinar en forma eficiente el modelo estadístico que representa la relación de los parámetros descriptivos y la presencia de las especies (Elith *et al.*, 2006).

La segunda corresponde a los métodos de clasificación, los cuales se basan en categorías basados en reglas, este modelo presenta una clase para cada clasificación de los parámetros predictivos que genera el modelo de distribución (Guisan y Zimmermann, 2000).

La siguiente categoría son los métodos de “sobre”, este método es uno de los modelos más antiguos de la modelación y poco usada en la actualidad. El cual se basa en el establecimiento de clasificaciones de clases de valores mínimos y máximos (Pliscoff y Castillo, 2011).

El último corresponde a los algoritmos específicos para generar modelos de distribución basados en la máxima entropía y algoritmos genéticos. La frecuencia de uso de este modelo en estudios y publicaciones se deben por la facilidad de su aplicación y la rapidez con que se pueden obtener los resultados (Elith *et al.*, 2011). En esta categoría destaca el modelo de *MaxEnt*.

Podemos decir, que los modelos de idoneidad como es *MaxEnt* (Phillips *et al.*, 2011) permite aproximar un rango total de distribución, ya que son herramientas prácticas para identificar las áreas de especies. Una ventaja del software es que se puede usar para diferentes escenarios como evaluar el impacto del cambio climático.

Para este estudio se trabajó con el modelo de *MaxEnt* (máxima entropía), se escogió este modelo porque se puede trabajar con los datos de presencia de la especie. Lo cual nos ayudó a proyectar la distribución geográfica del jobillo.

7.2 Estructura arbórea

Conceptualmente, se puede considerar la estructura como el patrón establecido de relaciones entre los componentes o partes de una organización. La estructura arbórea se refiere a la estructura de un bosque. Danserau (1957) define la estructura arbórea como la organización en el espacio de los individuos que forman un rodal, los elementos primarios de esta estructura son la forma de crecimiento, la estratificación y la cobertura. La estructura se puede clasificar como la distribución de los individuos en términos de edad, tamaño u otras características (Wadsoworth, 2000).

Existen dos tipos de estructura arbórea que puede presentar un bosque, la primera es la estructura regular o coetáneo y la segunda es la estructura irregular o multietáneo (Chacón y Cano, 1998). La primera es una estructura que generalmente es uniespecífica, es un

conjunto de árboles presentado por una sola especie, y la segunda está formada por múltiples especies y edades.

Generalmente, existen algunos métodos cuantitativos que utilizan variables o atributos de la estructura como el diámetro normal, altura total, especies, área basal, cobertura, volumen entre otras medidas estructurales que permiten su caracterización (Sotelo, 2006).

7.3 Generalidades de la especie *Astronium graveolens* Jacq.

Taxonomía: Pertenece a la familia Anacardiaceae, al género *Astronium* que incluye 13 especies y sólo una está presente en la Península de Yucatán.

Nombres comunes en la península de Yucatán: Jobillo, K'ulinché (Palacios, 2006).

Sinonimias: *Astronium fraxinifolium* Schott ex Spreng; *Astronium planchonianum* Engl; *Astronium zongolica* Reko.

Forma del Árbol: Árbol con ramas ascendentes, copa redondeada y densa. Su tronco es recto, simétrico y cilíndrico. Tiene una altura total de 25 a 30 metros. Su fuste comercial abarca las dos terceras partes de la altura total, variando de 15 a 20 metros de longitud. El diámetro altura del pecho (DAP) en la mayoría de los casos es de 30 a 60 cm, aunque no es raro que sea de 60 a 100 cm (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la corteza: La corteza externa es moderadamente rugosa y escamosa, se desprende en pedazos, tiene típicas manchas circuloideas oscuras, amarillentas y blanquecinas, que sobresalen del fondo gris parduzco. También presentan abundantes lenticelas protuberantes y pardas. Su corteza interna es de color crema claro a crema amarillento, granuloso, quebradiza. Secreta un exudado resinoso, cristalino, transparente y pegajoso, con un fuerte mal olor y sabor a trementina. Su grosor total de la corteza es de 7 a 20 mm (Pennington y Sarukhán, 1998).

Fenología: Florece de marzo a mayo y sus frutos maduran de mayo a octubre (Palacios, 2006).

7.3.1 Distribución

Se encuentran en las selvas altas perennifolias, subperennifolias y subcaducifolias. Esta especie vegetal se encuentra asociada con las especies *Brosimum alicastrum*, *Aphanonthe monoica*, *Sickingia salvadorensis*, *Manikara achras*, *Vitex gaumeri*, entre otras (Pennington y Sarukhán, 1998).

Astronium graveolens se distribuye en América latina, abarca desde el sur de México hasta el norte de Sudamérica pasando por Centroamérica. En Sudamérica se tienen reportes de registro de la especie en Ecuador, Colombia, Venezuela y Brasil. En el Golfo de México se encuentra ubicada desde el centro de Veracruz y norte de Oaxaca, hasta la Península de Yucatán.

7.3.2 Ecología del árbol

Especie vegetal heliófita, caducifolia al inicio de la estación seca, crece en buena forma en bosques primarios y secundarios. Poco común en áreas abiertas, donde alcanza menores dimensiones. Este tipo de árbol se adapta en bosques secos como húmedos, la precipitación en la que se desarrolla esta especie es de un rango muy amplio que abarca desde los 750 a 3,500 mm y con temperaturas de 20° a 32° C (Cordero y Boshier, 2003)

Se les encuentran en un rango de altitud de 0 a 1000 msnm, con mayor frecuencia en la costa pacífica por debajo de los 800 msnm. Se adapta a diferentes clases de sitios, de pendientes planas, moderadas, en suelos desde aluviales fértiles hasta rocosos y mal drenados. Muestra excelente desarrollo en áreas de pendiente y suelos arenosos bien drenados (Cordero y Boshier, 2003).

7.4 Usos de la madera

El uso principal que tiene esta especie arbórea es la madera de excelente calidad y veteado, muy adecuada para la fabricación de muebles finos, chapa rebanada decorativa, piezas aserradas, quillas y miembros estructurales de larga duración como son los postes, vigas y armazones (Palacios, 2006).

Debido a sus características de vetado y bello pulido se recomienda en segundo lugar para la fabricación de lanzaderas de la industria textil, bolos de boliche, artesanías y artículos deportivos. Una de las características principales que aporta un valor económico a esta materia prima, se debe a la durabilidad que posee (Palacios, 2006).

El Instituto de Ecología reporta que esta madera tiene uso medicinal (fruto, hoja y semilla), posee propiedades sedativas y diaforéticas. En ciertas regiones la resina que mana del tronco se utiliza como remedio casero de sarampión, viruela, erisipela y reumatismo. El aserrío de la madera es causa de intensas alergias e infecciones en las vías respiratorias y su uso es peligroso; la resina cáustica que exuda es sumamente tóxica.

8. Área de estudio

Este trabajo se realizó en la Península de Yucatán, que se localiza en la porción sureste de la República Mexicana, comprende entre las coordenadas geográficas $17^{\circ}49'$ y $21^{\circ}36'$ de Latitud Norte y $86^{\circ}45'$ y $91^{\circ}20'$ de Longitud Oeste. Abarca un total de superficie de $141,523 \text{ km}^2$ la cual está conformada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Está constituido por 126 municipios, 11 de los cuales pertenecen al estado de Campeche, 10 a Quintana Roo y 106 a Yucatán. Limita al norte y al oeste con el golfo de México, al este con el Mar Caribe y al sur se encuentran los países de Guatemala y Belice (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio, Península de Yucatán.

8.1 Caracterización del área de estudio

8.1.1 Clima

Se presentan tres tipos de climas de mayor predominancia en la región: El clima subhúmedo (Awo), que presentan temperaturas medias anuales mayores de 22°C y la temperatura del mes más frío mayor de 18°C . La precipitación media anual de 500 a 2,500

mm y con una precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm. Las lluvias de verano son del 5% al 10.2% anual.

El semiárido o cálido (BS1 (h') w, que presenta temperaturas medias anuales mayores de 22° C y las temperaturas del mes más frío mayor de 18° C. Se registran lluvias en verano del 5% al 10.2% anual.

El árido o cálido (BS0(h') (x'). Se registran temperaturas medias anuales mayores de 22°C y 18°C de los meses más fríos. Presentan lluvias en verano e invierno con temperaturas mayores al 18% anual.

8.1.2 Suelos

Se encuentran diferentes tipos de suelos en la Península de Yucatán, pero los más conocidos y abundantes en la región son los Litosoles, Rendzina, Luvisol crómico y Gleysol.

Los suelos Litosoles se caracterizan por tener una profundidad menor a los 10 cm, estos suelos se pueden encontrar en las sierras, en laderas, en barrancas y en algunos terrenos planos. Son suelos fértiles y puede ser arenosos o arcillosos (INEGI, 1998).

Los suelos que presentan mayor abundancia y extensión en la Península de Yucatán son los Rendzina, se pueden identificar principalmente por su alto contenido de materia orgánica (INEGI, 1998). Frecuentemente se pueden ubicar en las selvas medianas y altas.

Los Luvisoles son suelos que se presentan en zonas templadas o tropicales, estos se pueden identificar por tener un alto enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Por otra parte, los Gleysoles son suelos pantanosos o inundados la mayor parte del año, se pueden localizar en las selvas bajas, su principal característica es que tienen un prolongado periodo de inundación, que en ocasiones ocupan toda la época de lluvias.

8.1.3 Vegetación

En el estado de Yucatán se localizan la mayor parte de selvas bajas caducifolias y en menor porción se pueden encontrar en Campeche y Quintana Roo. En el norte de Yucatán, cerca de la línea de costa se encuentran la selva baja caducifolia con cactáceas columnares, es un tipo de vegetación sobre un suelo somero, creando una variedad de micronichos los cuales fomentan el aumento de la diversidad de plantas vasculares.

Cerca de la costa de los tres estados de la Península se desarrolla la vegetación halófila típica de la línea de costa, la duna costera y el matorral de duna costera que debido a sus características edáficas particulares, son el hábitat de varias especies especializadas y restringidas a estos ambientes (Carnevali *et al.* 2003).

Las Selvas Altas Subperennifolias ocupan las áreas más húmedas en la Península de Yucatán. Presentan diferencias florísticas significativas que se reflejan en otros esquemas biogeográficos basados en el clima, fisiografía y plantas (Lundell, 1934). Entre las selvas bajas caducifolias y las selvas altas perennifolias, se localizan agrupaciones intermedias como son las selvas medianas que pueden identificarse como caducifolias o subperennifolias.

9. Materiales y Métodos

9.1 Recopilación de la información

Para este estudio se utilizó como insumo principal los registros del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFS). Estos fueron obtenidos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), se usaron los datos de medición del año 2004-2006. También se realizó la consulta de ejemplares del Herbario Nacional que se obtuvieron de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y otra base de datos que fue obtenida de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El INFS, integra una base de datos o sistema de registro de información cuantitativa y cualitativamente de los recursos forestales, vegetación asociada, componentes y características del lugar sobre el cual se desarrolla el bosque (Inventarios forestales, 2003). Principalmente están enfocados a proporcionar información geográfica y maderable de las especies forestales.

Se realizó la búsqueda y recopilación de la información disponible sobre la especie, con lo cual se obtuvieron los requerimientos medioambientales y ecológicos que *Astronium graveolens* (Jobillo) necesita para poder desarrollarse, como son: el tipo de suelo, precipitación, temperatura, altitud, tipos de vegetación con la que se asocia la especie y algunas variables dasométricas que nos ayuden a conformar una base completa de datos de la especie.

9.1.1 Formación de la base de datos

Se integró una base de datos, con las siguientes variables: Taxonomía (Género, especie, nombre común), ubicación (Estado, municipio, localidad, coordenadas geográficas, número de conglomerado), variables dasométricas (número de árboles, diámetro normal (cm), diámetro de copa (cm), altura del fuste (m), altura total (m), variables cualitativas de vigor y forma). También se registraron las variables generadas a partir del diámetro normal y las alturas: área basal (m²), volumen de la altura total (m³), volumen de la altura del fuste limpio (m³).

9.1.2 Homogenización y depuración de la base de datos

La homogenización de los datos consistió en identificar los nombres comunes conocidos en la región, para poder descartar aquellos que no coincidieron o fueron mal identificados en campo, posteriormente se asignó un único nombre común el cual identificará a la especie.

Así mismo se realizó la proyección de los datos de presencia en *ArcMap* para descartar aquellos datos que se encontraron fuera del área de distribución conocida.

Posteriormente se realizó una revisión de los datos en la cual se encontraron celdas vacías lo que indicaban la falta de valores de medición, como fue el caso de la altura del fuste limpio y diámetro de copa, estos datos no fueron tomados en cuenta para no alterar los resultados de los estadísticos básicos.

9.2 Estimación de los estadísticos básicos

Mediante el programa *Microsoft Office Excel* se realizaron los cálculos estadísticos para obtener promedios, máximos, mínimos y la desviación estándar para las variables diámetro normal, altura total, altura del fuste limpio y las variables generadas como el área basal y los volúmenes. Este proceso se realizó por cada tipo de vegetación presente en la Península de Yucatán.

9.2.1 Estimación de las existencias reales por hectárea

Para este proceso se tomaron en cuenta todos los conglomerados de la Península de Yucatán, clasificándolos por tipo de vegetación, sobre los cuales se realizaron los cálculos de superficies tanto de presencia como de ausencia, y se obtuvieron densidades a nivel de ha.

El área basal se calculó para cada árbol utilizando la ecuación siguiente:

$$AB = 0.7854 (DN^2)$$

Donde:

AB= área basal (m²)

DN= diámetro normal (cm)

Para calcular el volumen de altura total para cada árbol, se utilizó la ecuación integrada al programa Selva versión 4:

$$V_{CC} = e^{[9.83322527 + 1.9241245 \text{LN}(D) + 1.00970142 \text{LN}(A)]}$$

Donde:

VCC= Volumen (m³)

e = Exponente

LN=Logaritmo natural

D=Diámetro normal

A=Altura total

9.2.2 Estimación de la estructura diamétrica y de alturas

Utilizando el diámetro normal ≥ 5 cm se definieron categorías diamétricas de 5 cm, para representar la distribución diamétrica en números de árboles por hectárea (N/ha) por tipo de vegetación, con lo cual se generó un histograma de frecuencias.

Con los valores de altura total se definieron las clases de alturas de 3 metros, se obtuvo el número de árboles por hectárea (N/ha) por tipo de vegetación, se representó en histogramas de frecuencias la estructura vertical de la altura total.

9.3 Datos bioclimáticos

Se utilizaron las 19 variables bioclimáticas y la altitud publicadas en *WorldClim* (<http://www.worldclim.org/bioclim>). Esta base contiene datos climáticos globales (grids de 20 x 20 km), con una resolución de un kilómetro. Además se utilizó el *raster* de edafología obtenido de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con una escala 1:250000.

Cuadro 1. Variables bioclimáticas

| | |
|-------|--|
| BIO1 | Temperatura media anual. |
| BIO2 | Oscilación diurna de la temperatura. |
| BIO3 | Isotermalidad . |
| BIO4 | Temperatura estacional. |
| BIO5 | Temperatura máxima del mes más cálido. |
| BIO6 | Temperatura mínima del mes más frío. |
| BIO7 | Oscilación térmica anual. |
| BIO8 | Temperatura media del trimestre más húmedo. |
| BIO9 | Temperatura media del trimestre más seco. |
| BIO10 | Temperatura promedio del trimestre más cálido. |
| BIO11 | Temperatura promedio del trimestre más frío. |
| BIO12 | Precipitación anual. |
| BIO13 | Precipitación del mes más lluvioso. |
| BIO14 | Precipitación del mes más seco. |
| BIO15 | Estacionalidad de la precipitación. |
| BIO16 | Precipitación del trimestre más húmedo. |
| BIO17 | Precipitación del trimestre más seco. |
| BIO18 | Precipitación del trimestre más cálido. |
| BIO19 | Precipitación del trimestre más frío. |

9.3.1 Modelación de la distribución

Para la generación del modelo de distribución se utilizó el software *MaxEnt* (Máxima entropía) y el *ArcMap* versión 10 de ESRI, los puntos de presencia de la especie, las 19 variables bioclimáticas del período 1950-2000 y el *raster* de altitud de *Worldclim* con una resolución espacial de un kilómetro cuadrado (30 arc-segundos), y el *raster* de edafología obtenido de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con una escala 1:250000.

La base de datos total con los registros de presencia fué dividida en 80% para generar el modelo y el 20% para validar de manera independiente una vez obtenido el modelo.

Para generar el modelo se utilizaron los siguientes parámetros: un número máximo de 1000 iteraciones, el límite de convergencia en 0.00001, del 80% de los datos ingresados el

programa realiza su propia validación utilizando el 95% de estos datos para generar el modelo y el 5% para testarlo. Se comparó la eficacia del modelo utilizando los datos de las curvas ROC generadas para cada especie.

Para evaluar el modelo se utilizó la técnica *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Para la construcción de la curva ROC, se clasificó dicotómicamente el modelo en áreas de presencia y ausencia a partir de cada uno de los valores de idoneidad (lo generó el programa). Con los valores de la curva ROC se determinó la validez del modelo el cual indica el área bajo la curva (AUC), que los valores próximos a 1 tienen un buen ajuste del modelo, mientras que valores cercanos a 0.5 indican que no puede discriminar entre datos reales y datos aleatorios.

En el primer modelo generado se corrió con todas las variables y a partir de este modelo se seleccionaron las variables con mayor aportación para la distribución de la especie. Se volvió a generar el modelo con las variables seleccionadas para obtener el mapa de distribución actual.

Una vez generado el modelo se sobrepuso el 20% de los puntos para verificar que porcentaje esté dentro o fuera del modelo.

9.3.2 Extracción de variables bioclimáticas

Los puntos de presencia (coordenadas geográficas), fueron proyectados en el espacio geográfico por medio del programa *ArcMap* 10, con las coordenadas se generó un *shape*, Se extrajeron los datos por cada punto de presencia de las 19 variables bioclimáticas, suelo y altitud.

Estos datos fueron exportados al programa *Microsoft Office Excel*, se seleccionaron las variables más importantes. Con esta información se obtuvieron los promedios generales para cada variable agroecológica, así también como los mínimos y máximos a nivel Penínsular. La información se presentó en forma de gráfica.

Para la variable del suelo se seleccionó el valor que fue más frecuente asociado a cada uno de los puntos de presencia, con lo cual se determinó qué tipo de suelo es el más importante para el desarrollo del Jobillo, con base a la clasificación establecida por el INEGI en el *raster* de edafología.

10. Resultados y discusiones

10.1 Densidad y estructura arbórea

Astronium graveolens se encuentra distribuido en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, con una superficie total de 3.33 millones de ha, que representa el 23.53% de la superficie total de la Península de Yucatán. De la superficie total, el 82.27% corresponde a Selvas medianas con una densidad entre 0.36 y 4.65 árboles por ha. El resto de la superficie está representado por selvas altas (2.02 árboles/ha) y selvas bajas con 0.4 y 1.38 árboles por ha (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie, densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación de *A. graveolens* en la Península de Yucatán.

| Tipo de vegetación | Superficie (ha) | Superficie (%) | N. Árboles (ha) |
|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Selva alta subperennifolia | 59200 | 1.78 | 2.027 |
| Selva baja caducifolia | 46400 | 1.39 | 0.431 |
| Selva baja subperennifolia | 152000 | 4.56 | 1.381 |
| Selva mediana subcaducifolia | 1716800 | 51.54 | 0.36 |
| Selva mediana subperennifolia | 1356800 | 40.73 | 4.65 |
| TOTAL | 3331200 | 100 | |

La densidad de árboles está mejor representada en la vegetación de selva mediana subperennifolia con 19.41 árboles por ha en el estado de Quintana Roo; en tanto para el mismo tipo de vegetación en el estado de Campeche esta especie solo tiene 2.52 árboles por ha. En el estado de Yucatán, se encontraron sólo dos tipos de vegetación donde esta presente el Jobillo con una densidad de 1 árbol por cada 3.7 ha. El estado de Campeche es el único que presenta una vegetación con selva alta la cual tiene una densidad de 2.03 árboles por ha. En general la densidad de árboles por ha esta mejor representado en el estado de Quintana Roo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación por Estado de *A. graveolens* en la Península de Yucatán.

| Estado | Tipo de vegetación | Num. Árboles Por ha |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Campeche | Selva alta subperennifolia | 2.03 |
| | Selva baja caducifolia | 0.22 |
| | Selva baja subperennifolia | 1.51 |
| | Selva mediana subcaducifolia | 0.56 |
| | Selva mediana subperennifolia | 2.52 |
| Quintana Roo | Selva baja caducifolia | 6.25 |
| | Selva baja subperennifolia | 1.14 |
| | Selva mediana subcaducifolia | 0.86 |
| | Selva mediana subperennifolia | 19.41 |
| Yucatán | Selva mediana subcaducifolia | 0.17 |
| | Selva mediana subperennifolia | 0.28 |

Las características dasométricas del Jobillo están mejor representadas en la vegetación de Selva Alta Subperennifolia con un diámetro promedio de 20.8 cm y un mínimo de 11.1 y máximo de 35.5 cm. Con una altura total de 15.30 metros y un fuste limpio de 9 metros. Seguido de la Selva Baja Subperennifolia con un diámetro de 18.88 cm y una altura promedio de 12.38 m y fuste limpio de 7.87 m.

Aún cuando el Jobillo tiene la mayor densidad de árboles por ha en la Selva Mediana Subperennifolia, el diámetro promedio es menor que el de la selva alta (15.92 cm), sin embargo, tiene diámetros y alturas máximos de 50 cm y de 23 m respectivamente. Con un fuste limpio máximo de 16.5 m. El promedio del diámetro más bajo del Jobillo (14.06 cm) está representado en la Selva Mediana Subcaducifolia y una altura de 9.99 m (Cuadro 4).

Estos resultados coinciden con los reportados por (Rodríguez, 2007) al estudiar el tamaño de los árboles en diferentes tipos de vegetación, en el Sitio Experimental San Felipe Bacalar.

Cuadro 4. Características promedios de los árboles de *A. graveolens* por tipo de vegetación en la Península de Yucatán.

| Tipo de vegetación | Variabes | Promedio | Mínimo | Máximo | Des. Estándar |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------------|
| Selva Alta Subperennifolia | DN | 20.81 | 11.10 | 35.50 | 7.00 |
| | HT | 15.30 | 9.00 | 22.00 | 4.01 |
| | HFL | 9.95 | 4.40 | 16.00 | 3.53 |
| | AB | 0.04 | 0.01 | 0.10 | 0.03 |
| | VHT | 0.31 | 0.07 | 0.67 | 0.20 |
| | VHFL | 0.18 | 0.02 | 0.43 | 0.12 |
| Selva Baja Caducifolia | DN | 15.75 | 9.00 | 22.50 | 9.55 |
| | HT | 11.20 | 9.60 | 12.80 | 2.26 |
| | HFL | 4.50 | 2.40 | 6.60 | 2.97 |
| | AB | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.02 |
| | VHT | 0.16 | 0.04 | 0.28 | 0.12 |
| | VHFL | 0.04 | 0.02 | 0.05 | 0.02 |
| Selva Baja Subperennifolia | DN | 18.88 | 7.50 | 42.00 | 10.05 |
| | HT | 12.38 | 4.00 | 19.50 | 4.37 |
| | HFL | 7.88 | 3.00 | 14.00 | 3.32 |
| | AB | 0.04 | 0.00 | 0.14 | 0.04 |
| | VHT | 0.28 | 0.02 | 1.31 | 0.36 |
| | VHFL | 0.17 | 0.01 | 0.78 | 0.21 |
| Selva Mediana Subcaducifolia | DN | 14.07 | 7.60 | 38.40 | 6.80 |
| | HT | 9.99 | 3.30 | 17.42 | 3.17 |
| | HFL | 6.11 | 2.00 | 14.06 | 2.43 |
| | AB | 0.02 | 0.00 | 0.12 | 0.02 |
| | VHT | 0.13 | 0.01 | 0.77 | 0.16 |
| | VHFL | 0.07 | 0.01 | 0.50 | 0.08 |
| Selva Mediana Subperennifolia | DN | 15.92 | 7.50 | 50.00 | 7.51 |
| | HT | 11.14 | 2.60 | 23.00 | 3.77 |
| | HFL | 7.16 | 1.37 | 16.50 | 2.96 |
| | AB | 0.02 | 0.00 | 0.20 | 0.03 |
| | VHT | 0.18 | 0.01 | 2.03 | 0.25 |
| | VHFL | 0.11 | 0.00 | 1.22 | 0.15 |

DN: Diámetro normal (cm), HT: Altura total (m), HFL: Altura del fuste limpio (m), AB: Área basal (m²), VHT: Volumen de altura total (m³), VHFL: Volumen de altura del fuste limpio.

El área basal mayor y volumen total en m³ por ha de *Astronium graveolens* se encontraron en la selva alta subperennifolia; en tanto, valores menores de esas variables se reportaron en la selva mediana subcaducifolia (Cuadro 5)

Cuadro 5. Superficie, densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación de *A. graveolens* en la Península de Yucatán.

| Tipo de vegetación | Superficie (%) | Num. Árboles (ha) | AB/ha m ² | VHT m ³ /ha | VHFL m ³ /ha |
|------------------------------|----------------|-------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Selva alta subperenifolia | 1.78 | 2.03 | 0.076 | 0.639 | 0.339 |
| Selva baja caducifolia | 1.39 | 0.43 | 0.009 | 0.068 | 0.016 |
| Selva baja subperenifolia | 4.56 | 1.38 | 0.049 | 0.197 | 0.221 |
| Selva mediana subcaducifolia | 51.54 | 0.36 | 0.007 | 0.046 | 0.025 |
| Selva mediana subperenifolia | 40.73 | 4.65 | 0.113 | 0.200 | 0.491 |
| TOTAL | 100 | | | | |

En el Cuadro 6, se observa que la mayor densidad del Jobillo se encontró en los estados de Campeche y Quintana Roo, en la vegetación de selva alta y selva mediana subperennifolia, en el caso de Quintana Roo se estimó la mayor presencia del Jobillo en la selva mediana subperennifolia con 19.4 árboles por ha, con un área basal de 0.43 m² y un volumen de 3.11 m³. De igual manera está bien representada en la selva baja caducifolia con una estimación de 6.25 árboles, con un área basal de 0.24 m², con un volumen 1.7 m³ y volumen de fuste limpio de 0.32 m³.

Cuadro 6. Superficie, densidad, área basal y volumen por tipo de vegetación de *A. graveolens* en la Península de Yucatán.

| Estado | Tipo de vegetación | Núm. Árboles por ha | Área Basal m ² /ha | Volumen Alt. Total m ³ /ha | Volumen Alt. Fuste limpio m ³ /ha |
|--------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| Campeche | Selva Alta Subperennifolia | 2.03 | 0.076 | 0.639 | 0.34 |
| | Selva Baja Caducifolia | 0.22 | 0.001 | 0.008 | 0.005 |
| | Selva Baja Subperennifolia | 1.51 | 0.065 | 0.503 | 0.278 |
| | Selva Mediana Subcaducifolia | 0.56 | 0.01 | 0.072 | 0.044 |
| | Selva Mediana Subperennifolia | 2.52 | 0.067 | 0.504 | 0.283 |
| Quintana Roo | Selva Baja Caducifolia | 6.25 | 0.249 | 1.746 | 0.324 |
| | Selva Baja Subperennifolia | 1.14 | 0.019 | 0.155 | 0.114 |
| | Selva Mediana Subcaducifolia | 0.86 | 0.012 | 0.079 | 0.051 |
| | Selva Mediana Subperennifolia | 19.41 | 0.439 | 3.118 | 1.952 |
| Yucatán | Selva Mediana Subcaducifolia | 0.17 | 0.004 | 0.026 | 0.011 |
| | Selva Mediana Subperennifolia | 0.28 | 0.006 | 0.041 | 0.023 |

10.2 Estructuras diamétricas y de alturas por tipos de vegetación

En el Cuadro 7, se presentan los resultados de las categorías diamétricas de *A. graveolens* en los diferentes tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Como se observa en la Figura 2, en la Selva Mediana Subperennifolia (SMSP) el Jobillo presenta una distribución regular de “J” invertida, con el mayor número de árboles en las categorías de 5 a 25 cm y pocos árboles en los diámetros superiores a 25 cm, con presencia hasta los 50 cm, lo que indica que las poblaciones de esta especie están bien representadas en la vegetación de SMSP.

En la Selva Alta Subperennifolia (SASP), el Jobillo presenta una distribución regular, con tendencia a una distribución normal, con el mayor número de árboles en las categorías intermedias (15 a 25 cm), pocos árboles en la categoría de 10 cm y en los diámetros mayores de 30, con presencia hasta los 40 cm. La tendencia de la distribución de diámetros en la SASP, indica que las poblaciones de esta especie están bien representadas.

En la Selva Baja Subperennifolia (SBSP), el Jobillo también presenta una distribución de “J” invertida, pero irregular y desbalanceada, con pocos árboles en la categoría de 10 cm y en las categorías de 20 cm o más, con presencia hasta los 40 cm. La tendencia de la distribución de diámetros en este tipo de vegetación, indica que las poblaciones de esta especie no están bien representadas. En los tipos de vegetación de Selva Baja Caducifolia (SBC) y Selva Mediana Subcaducifolia (SMSC), el Jobillo se distribuye en las categorías inferiores (10 a 15 cm).

Cuadro 7. Categorías diamétricas de *A. graveolens* por tipos de vegetación.

| Categoría diamétrica (CM) | Tipos de vegetación | | | | |
|---------------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| | SASP | SBC | SBSP | SMSC | SMSP |
| 10 | 0.16892 | 0.21552 | 0.3947 | 0.18639 | 1.98261 |
| 15 | 0.50676 | 0 | 0.52632 | 0.11067 | 1.18662 |
| 20 | 0.33784 | 0.21552 | 0.06579 | 0.01747 | 0.64858 |
| 25 | 0.67568 | 0 | 0.13158 | 0.0233 | 0.47907 |
| 30 | 0.16892 | 0 | 0.06579 | 0.01165 | 0.16952 |
| 35 | 0.16892 | 0 | 0.13158 | 0.00582 | 0.11055 |
| 40 | 0 | 0 | 0.06579 | 0.00582 | 0.02948 |
| 45 | 0 | 0 | 0.06579 | 0 | 0.2948 |
| 50 | 0 | 0 | 0.13158 | 0 | 0 |

CD: Categoría Diamétrica (cm), SASP: Selva Alta Subperennifolia, SBC: Selva Baja Caducifolia, SBSP: Selva Baja Subperennifolia, SMSC: Selva Mediana Subcaducifolia, SMSP: Selva Mediana Subperennifolia

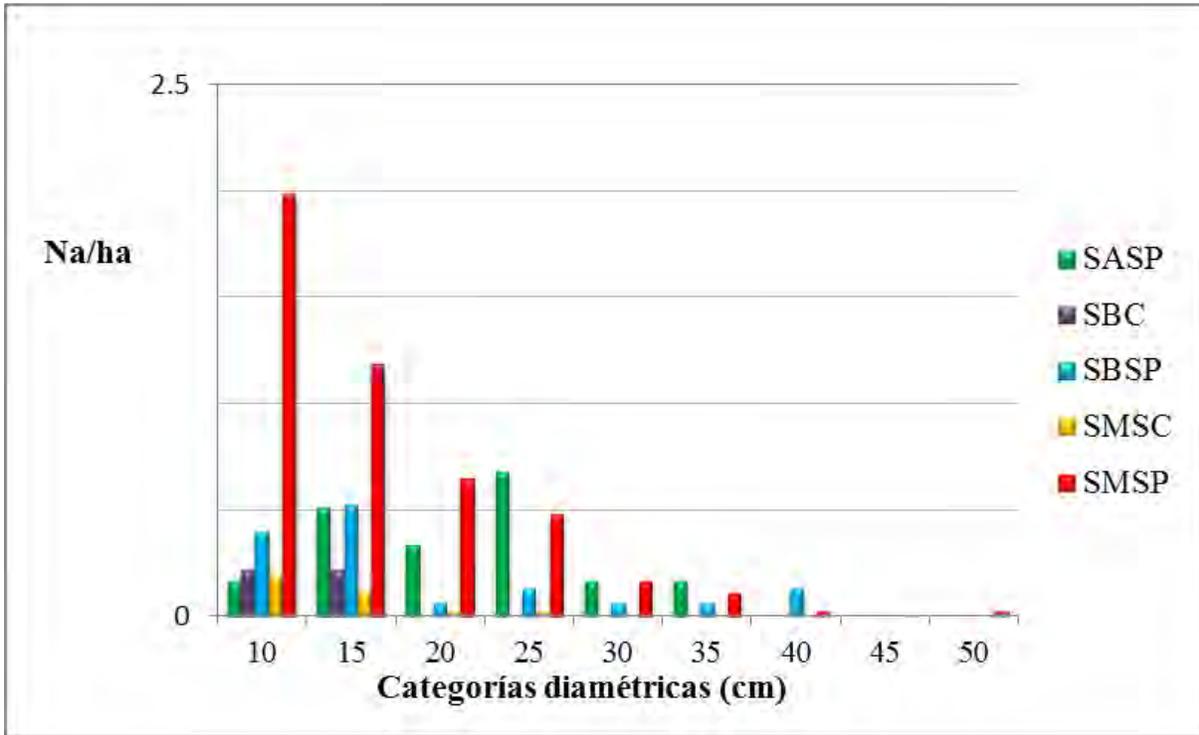


Figura 2. Estructura diamétrica de *Astronium graveolens* en la Península de Yucatán

En el Cuadro 8, se presentan los resultados de las categorías de alturas de *A. graveolens* en los diferentes tipos de vegetación de la Península de Yucatán. De acuerdo con la Figura 3 el Jobillo presenta la misma tendencia en la distribución de alturas en los tipos de vegetación de SMSP y SASP, con el mayor número de árboles en las categorías de 6 a 12 metros; pero con mayor tamaño en la SMSP. La altura disminuye en los tipos de vegetación de SBSP, SBC y SMSC.

El patrón de distribución en las categorías diamétricas y categorías de altura que presentó *A. graveolens* en la Península de Yucatán coincide con lo reportado por Palacios (2006), quien menciona, que esta especie encuentra las mejores condiciones de desarrollo en la SMSP y SASP. Lo que se ve reflejado en un mayor número de árboles, con los mejores tamaños en diámetro normal y altura total en estos tipos de vegetación.

Cuadro 8. Categorías de alturas de *Astronium graveolens* por tipo de vegetación

| C. Altura total (M) | Tipos de vegetación | | | | |
|---------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | SASP | SBC | SBSP | SMSC | SMSP |
| 3 | 0 | 0 | 0.0658 | 0.0058 | 0.1032 |
| 6 | 0 | 0 | 0.2632 | 0.0757 | 0.6265 |
| 9 | 0.3378 | 0.2155 | 0.1316 | 0.134 | 1.5478 |
| 12 | 0.1689 | 0.2155 | 0.3289 | 0.099 | 1.0245 |
| 15 | 0.8446 | 0 | 0.2632 | 0.0291 | 0.8992 |
| 18 | 0.1689 | 0 | 0.2632 | 0.0175 | 0.3833 |
| 21 | 0.5068 | 0 | 0.0658 | 0 | 0.059 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0074 |

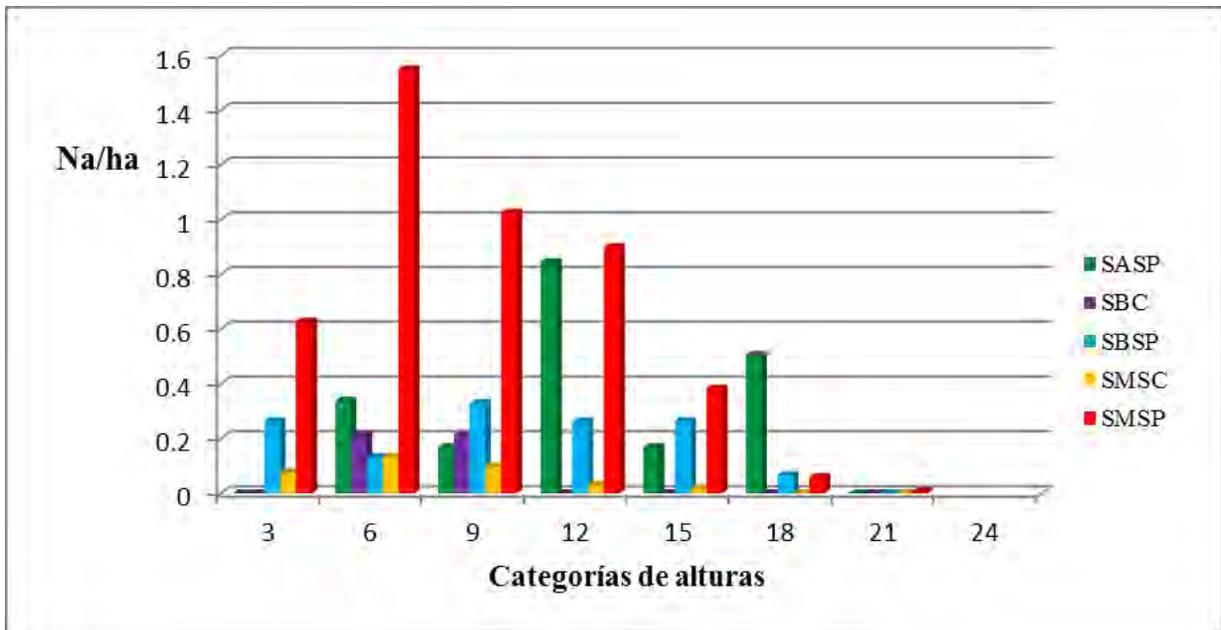


Figura 3. Estructura Vertical de *Astronium graveolens* en la Península de Yucatán.

10.3 Distribución geográfica actual

En la Figura 4, se presenta el mapa de distribución geográfica actual, donde se representa por medio de una escala de colores, la cual indica la probabilidad de presencia de *A. graveolens* en la Península de Yucatán: verde (baja), amarillo (media) y rojo (alta).

En la Península de Yucatán se estimó una superficie de 14 millones 759 mil 86.1 ha, donde Quintana Roo ocupa la mayor superficie de probabilidad de presencia del Jobillo con el 62.60%, seguido por el estado de Campeche con una probabilidad del 38.75% y Yucatán con la menor superficie de probabilidad de presencia con 13.14% (Figura 4).

En la modelación de *A. graveolens* mediante el programa Maxent se obtuvo un valor de 0.973 en el Área Bajo la Curva (AUC según sus siglas en inglés), lo cual indica que el modelo es confiable por ser un valor muy cercano a 1 (Maximiliano *et al.*, 2011), con una desviación estándar de 0.005. Las variables que más aportan a la generación del modelo de distribución fueron la temperatura promedio del trimestre más frío, precipitación anual, precipitación del mes más seco y la temperatura mínima del mes más frío (Cuadro 9).

Resultados similares fueron encontrados por Maximiliano *et al.* (2011) en un estudio sobre la distribución actual de *Swietenia macrophylla* (Caoba) donde obtuvieron el AUC de 0.9, reportando como las variables más significativas la precipitación anual, temperatura media del trimestre más húmedo.

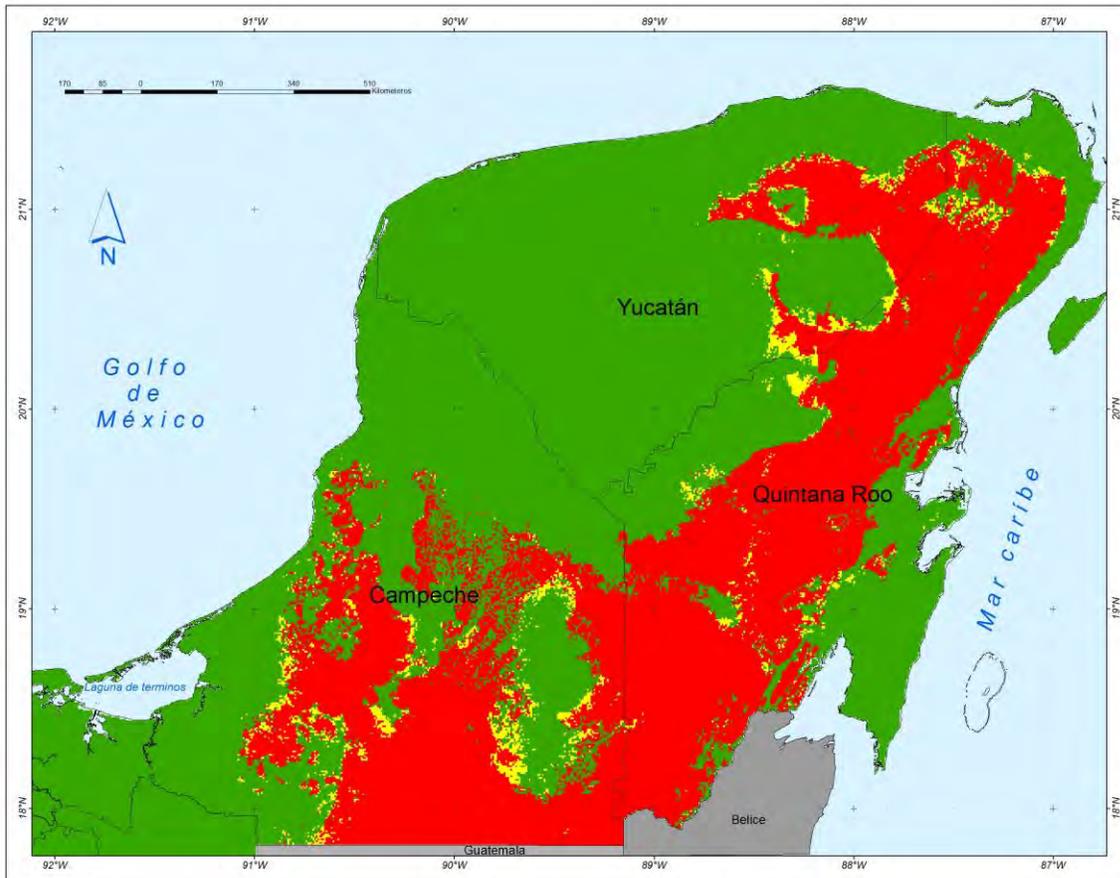


Figura 4. Distribución geográfica de *Astronium graveolens* (Jobillo) en la Península de Yucatán

En el Cuadro 9, se observan las variables bioclimáticas que fueron de mayor importancia para *A. graveolens*, las cuales fueron las siguientes; Temperatura mínima del mes más frío con una contribución del 23%, la precipitación del mes más seco con 22.7 %, mientras que la precipitación del mes más lluvioso fue con una aportación del 13.2%.

Cuadro 9. Aportación en porcentaje de cada variable agroecológica.

| Variable | Contribución en % |
|---|--------------------------|
| Temperatura mínima del mes más frío | 23 |
| Precipitación de mes más seco | 22.7 |
| Precipitación de mes más lluvioso | 13.2 |
| Temperatura media anual | 11 |
| Precipitación anual | 10.5 |
| Temperatura promedio del trimestre más frío | 5.4 |
| Temperatura estacional | 4.5 |
| Precipitación del trimestre más frío | 3.7 |
| Altitud | 2.2 |
| Temperatura media del trimestre seco | 1.6 |
| Oscilación diurna de la temperatura | 0.2 |
| Suelo | 1.1 |

10.4 Requerimientos agroecológicos de *Astronium graveolens* en la Península de Yucatán

En el Cuadro 10 se presentan las variables agroecológicas de mayor aportación para modelar el patrón de distribución de *A. graveolens*. Con esta información es posible conocer las áreas donde esta especie encuentra las mejores condiciones para su desarrollo.

En la Península de Yucatán *Astronium graveolens* encuentran las mejores condiciones para su desarrollo en alturas que van desde los 2 hasta 303 msnm, con temperaturas anuales de 25.5°C con una mínima del mes más frío de 16.4 °C y para el trimestre más seco se halló la temperatura de 25 °C. Pero también se desarrolla en regiones donde la precipitación va de los 1038 mm hasta los 1483 mm, con una precipitación del mes más frío 139.5 mm y

con el mes más seco de de 31.1 mm (Cuadro 10). En la Figura 5 se muestra la gráfica de dispersión de temperatura contra precipitación que indican los rangos de estas variables donde la especie se encuentra dispersa en el espacio ecológico.

Cuadro 10. Condiciones agroecológicas de *Astronium graveolens* en la Península de Yucatán.

| CONCEPTO | ÓPTIMO | MÍNIMO | MÁXIMO |
|--|-----------|---------|----------|
| Altitud | 87.7 msnm | 2 msnm | 303 msnm |
| Temperatura Media Anual | 25.5 °C | 24.6 °C | 26.6 °C |
| Ocilación Diurna de la Temperatura | 11.5°C | 9.3°C | 13.1°C |
| Temperatura Estacional | 19.5°C | 15.4°C | 22.6°C |
| Temperatura Mínima de Mes Más Frío | 16.4°C | 14.8°C | 18.8°C |
| Temperatura media trimestre más húmedo | 26.8 °C | 22.5°C | 28 °C |
| Temperatura Media Trimestre Más Seco | 25 °C | 22.7°C | 26.4°C |
| Temperatura Promedio Trimestres Más Frío | 22.7 °C | 21.4°C | 23.7°C |
| Precipitación Anual | 1229.8 mm | 1038 mm | 1483 mm |
| Precipitación del Mes Más Lluvioso | 211.3 mm | 166 mm | 263 mm |
| Precipitación del Més Más Seco | 31.1 mm | 16 mm | 44 mm |
| Precipitación Trimestre Más Húmedo | 547.3 mm | 413 mm | 761 mm |
| Precipitación Trimestre Más Frío | 139.5 mm | 84 mm | 290 mm |
| Suelo | Rendzina | | |

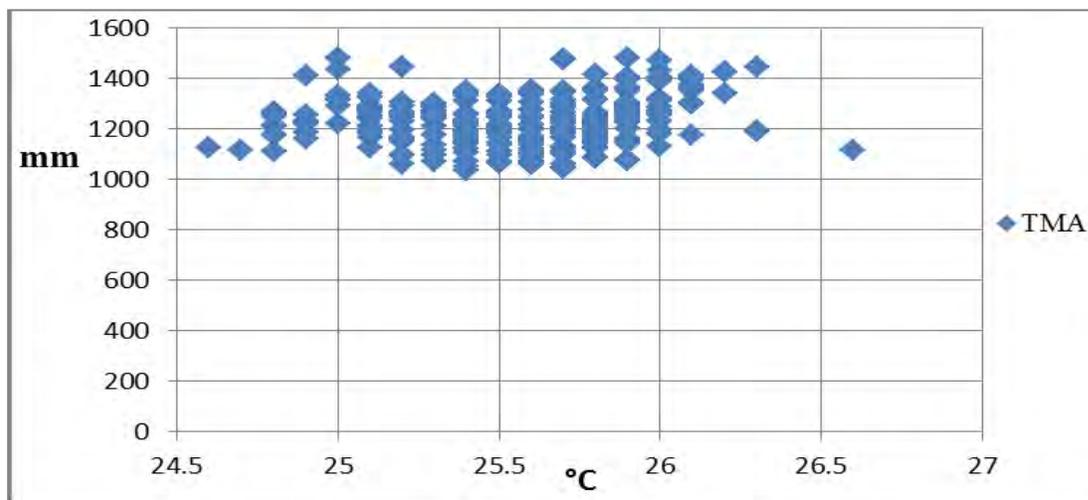


Figura 5. Gráfica de dispersión

El tipo de suelo en que se desarrolla mejor el Jobillo es el Rendzina (Cuadro 10) el cual está presente en la Península de Yucatán. Estos suelos someros son de alto contenido de materia orgánica, ricos en nutrientes y son de alta fertilidad, se llegan a encontrar en material calcáreo y son buenos para la agricultura, ya que contienen un 0.58% de Carbono orgánico (INEGI, 1998).

11. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación sobre *A. graveolens* se concluye lo siguiente:

Los rangos de las variables bioclimáticas de temperatura, precipitación y suelo determinan las áreas de distribución de esta especie en la Península de Yucatán.

Las Selvas altas y medianas subperennifolias en los estados de Quintana Roo y Campeche presentan las condiciones agroecológicas para el mejor desarrollo de la especie.

La especie está presente en las Selvas bajas de la Península de Yucatán, pero su densidad y distribución es muy limitada, lo que requiere atención especial para su aprovechamiento y conservación.

Los resultados de este estudio contribuyen para conocer el estado actual de las poblaciones del Jobillo, para que en el corto y mediano plazo se puedan establecer acciones de conservación y un manejo adecuado para esta especie, incluyendo la revaloración en la NOM-059 SEMARNAT 2010.

12. Referencias Bibliográficas

Anderson, Eric R., Emil A. Cherrington, Laura Tremblay-Boyer, África I. Flores y Emilio Sempris (2008). La identificación de las áreas críticas para la conservación: Biodiversidad y cambio climático en Centroamérica, México y la República Dominicana. *Biodiversidad*,:3-4,99.

Baldwin, R. (2009). El uso de Modelado de máxima entropía en Wildlife Research. *Entropía* 2009, 11, 854-866; doi: 10.3390/e11040854. Centro de la agricultura de la Universidad de California. ISSN 1099-4300. www.mdpi.com/journal/entropy

Briones y Lavariega (2012). Distribución actual y potencial del Jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de biodiversidad*.

Cárdenas, D. Castaño, N., y Sua, S. (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. Ginebra Suiza.

Carnevali G., Ramires-Morillo I. y Gonzáles-Iturbe J.(2003). Flora y vegetación de la Península de Yucatán. en: Colunga-García-Marín, P and Larqué-saavedra A. Eds. *Naturaleza y sociedad del área maya: pasado presente y futuro*. In; pp 53-68. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida

Cayuela, L., Golicher, D., Newton, A., Kolb, M., Albuquerque, F., Arets, E. J., Alkemade J. y Pérez, A. (2009). Especies modelación de distribución en los trópicos: problemas, potencialidades, y el papel de los datos biológicos para la conservación de las especies eficaz. *Ciencia de la Conservación Tropical*. Vol.2 (3):319-352.

Cordero, J. y Boshier, D. (2003). Árboles de Centroamérica: un Manual para Extensionistas (*Trees of Central America: a Manual for Extentionists*).

Chacón, J. (2006). Desarrollo de una metodología para el análisis y evaluación de estructuras arbóreas utilizando datos dasométricos y geoespaciales en Bocoyna, Chihuahua, México.

Chacón, J. y Cano, V. (1996). Tablas de densidad para *Pinus durangensis*. Memoria del IV Congreso Mexicano de Recursos Forestal. Montecillo Edo. De México.

Cushman, S. (2006). Efectos de la pérdida y fragmentación del hábitat sobre los anfibios: Una revisión y prospecto. *Conservación Biológica*. 128 (2): 231-240.

Danserau, P. (1957) *Biogeografía una perspectiva ecológica*. Editorial. La Ronald Press, Nueva York.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, G., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scacheti, R., Scapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. y Zimmermann, N. (2006). Métodos novedosos mejorar la predicción de las Especies. *Distribuciones de Ocurrencia de Datos. Ecografía*, vol. 29, Pág. 129-151

Ferrier, S., Watson, G., Pearce, J. y Drielsma, M. (2002). Enfoques para modelar el patrón espacial de la biodiversidad en el noreste de New South País de Gales. *Modelado I. Especies nivel. Biodiversidad y Conservación* 11: 2275-2307.

Guisan, A.; Edwards, J. y Hastie, T. (2002). Generalizado modelos aditivos generalizados lineales y en los estudios de distribución de especies: Configuración de la escena. *Modelación Ecológica*. Vol. 157, p. 89-100

Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicción de la distribución de especies: ofrecer más que los modelos simples de hábitat. *Las letras de la ecología*. Vol. 8, p. 993-1009.

Guisan, A., y Zimmermann, N. (2000). Modelos de distribución del hábitat de predicción en la ecología. *Ecol. Modelo* 135, 147-186.

Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P y Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.

Hoekstra, J., Boucher, T., Ricketts, T. y Roberts, C. (2005). Frente a una crisis bioma: disparidades globales de la pérdida de hábitat y la protección. *Ecología* 8:3-29.

Hurtado, C. (2007). Uso de modelos de predicción como herramienta para estimar el área de distribución potencial de la especie *Aniba perutilis* (COMINO CRESPO) en el departamento del valle del cauca. Programa de Ecología de Popayán.

Hutchinson, G. (1957). Observaciones finales. *Cold Springs Harbor Simposios sobre Biología Cuantitativa* 22:415-427

INEGI. 1998. Banco de Información sobre Perfiles de suelo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

IPCC.(2007). *Climate change 2007: Synthesis Report*. Cambridge University, Press, New York, USA

Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L., Tohme, J. (2005). The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in enzymology*, vol. **395**: 279-298.

Krasilnikov, P. (2011). *Geografía de suelos de México*. UNAM, Facultad de Ciencias. 1ra. Edición. México, D.F. I.S.B.N. 978-607-02-2704-2.

Loreau, M., Oteng-Yeboah, A., Arroyo, M.T.K., Babin, D., Barbault, R., Donoghue, M. (2006). Diversity without representation. *Nature* 442: 245-246.

Lundell, C. (1934). Preliminary sketch of the phytogeography of the Yucatan Peninsula. *Carn. Inst. Wash. Publ.* 436: 257-321.

Manuales para la educación agropecuaria. Producción Forestal.(s/a). En Cap 6 Dansometría. Editorial trillas. (Pag 13-15) México.

Mateo, R; Felicísimo, A. y Muñoz J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. Revista chilena de historia natural. Pág. 217-240.

Maximiliano, G., Alfaro, R., Ramirez, A., Lomas, B. y Manzano, E. (2013) Distribución de especies forestales de importancia económico en la Península de Yucatán. Campeche, México.

Murphy, D. D., Freas, K. E. & Weiss, S. B. (1990). An environment met population approach to population viability analysis for a threatened invertebrate. *Conservation Biology*, **4**, 41–51.

Ortiz, E y Quiroz, D. (2002). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. En cap 1 definiciones y tipos de inventarios forestales. . Centro Agroeconómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE , I.SB.N 9977573840.

Palacios, E. (2006). Ficha técnica de *Astronium graveolens*. Cuarenta y ocho especies de la flora de Chiapas incluidas en el PROY-NOM-059-ECOL-2000. Instituto de historia natural y ecología. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No.W008. México. DF.

Pennington, T y Sarukhán, K. 1998 .Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Fondo de cultura economía México, D. F

Phillips J, Anderson P, Schapire E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecology modelling* 190:231-259.

Pliscoff y Castillo, 2011. Modelación de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoque disponible.

Rodriguez, B.(2007). Daños del huracán Dean en la vegetación arbórea del sitio experimental San Felipe Bacalar. En informe técnico del Inventario Forestal.

Santos, J, (2013). Distribución geográfica de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) oken y *Cordia dodecandra* A D.C en la península de Yucatán. En Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y pecuarias, Campo experimental de Chetumal Q.Roo.

Scheldeman, X. y Maarten V. (2011). Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. Bioersivity International, Roma, Italia. 186 pp. ISBN 978-92-9043-908-0.

Vega, C., Maldonado, R. y Garcia, L (1994). *Dendrometria*. En Cap Dansometría o medicion forestal. Universidad Autónoma de Chapingo.(pág 9-20)

Wadsworth, F.H. (2000). Producción Forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710 p.

Citas de internet

WorldClim (datos sobre el clima gratis para modelos ecológicos y SIG).
<http://www.worldclim.org/>

NOM-O59-SEMARNAT-2000

http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf