

**“DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DEL  
SIRICOTE (*CORDIA DODECANDRA* A. DC) EN LA  
PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO”**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE  
RECURSOS  
NATURALES TROPICALES**

**POR:**

**Licenciado en Biología  
José Luis Cámara Romero.**

**Asesores:**

**Dr. Juan Jiménez Osornio  
Dr. Héctor Estrada Medina**

Mérida, Yucatán, México, septiembre de 2016

## **DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD**

“El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente”.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mí querida alma mater la Universidad Autónoma de Yucatán.

Al proyecto “Efecto de la domesticación en la diversidad biológica e interacción planta-suelo de árboles nativos de la Península de Yucatán”. Clave: CB2014-236428”, así mismo al CONACYT por otorgarme la beca para realizar el estudio de posgrado, sin ello no hubiera sido posible.

A mis asesores Dr. Juan J. Jiménez Osornio y Dr. Héctor Estrada Medina a quienes agradezco las enseñanzas, la confianza y apoyo total que me han brindado.

A mis síndos Dr. Juan Javier Ortiz, Dra. Patricia Montañez Escalante, Dra. Celene Espadas Manrique, Dr. Juan Tun Garrido, Dr. Salvador Flores Guido y Dr. Carlos Cervera.

## DEDICATORIA

Esta tesis como todos mis logros en la vida tienen una razón de ser, Mi Familia.  
Mi madre María Eugenia Romero, mi padre José Luis Cámara y a mis hermanos,  
Cinthia, María José, Patricia, Miguel Ángel y David, por su infinito amor y confianza,  
porque mis logros serán siempre compartidos con ustedes.

Justamente al inicio de esta aventura entro a mi vida una gran mujer, gracias por  
compartir tu tiempo, experiencia y consejos para que sea un mejor trabajo, a ti María  
Bottini.

## RESUMEN

En la Península de Yucatán, el Siricote (*Cordia dodecandra* A.DC) es considerada una especie de importancia cultural y económica por sus múltiples usos, sin embargo a causa de la sobreexplotación, los cambios de uso de suelo y la transformación de su hábitat han disminuido las poblaciones silvestres. Es por ello que es necesario generar información básica de la especie como su distribución, identificar las variables ambientales, uso de hábitat, entre otros aspectos, que nos permitan identificar el área de distribución y así poder generar estrategias que coadyuven a la conservación, manejo sustentable y recuperación tanto de la especie como de sus hábitats. Los objetivos de este estudio fueron: (i) Identificar la distribución potencial de *C. dodecandra* en ambientes naturales por medio de la modelación geográfica de las 15 variables ambientales seleccionadas para la Península de Yucatán (ii) Estimar la superficie (hectáreas) que ocupa las zonas óptimas de distribución potencial *C. dodecandra* en comparación con el cambio de uso de suelo actual en la Península de Yucatán (iii) Identificar las variables ambientales y analizar la importancia relativa en la conformación de la distribución potencial de *C. dodecandra*. Se obtuvieron un total de 393 puntos de presencia de las bases de datos en línea para el siricote. Tras la depuración de la base de datos resultó un total de 160 puntos de presencia, 79 en Yucatán, 45 en Campeche y 36 en Quintana Roo; además se localizaron 75 puntos de presencia en campo para probar el programa. En el modelo se consideraron 15 variables ambientales. Los resultados mostraron una disminución del área de distribución potencial del siricote al contrastarlos con los cambio de uso de suelo ocurridos en la Península de Yucatán. La pérdida de cobertura potencial es del 6.5% considerando un área de 133,700.8 Km<sup>2</sup> de superficie peninsular. La precipitación del mes más húmedo, el clima, la geomorfología y la humedad del suelo son las variables ambientales que contribuyen en la distribución potencial. El modelo obtenido mediante el programa MaxEnt mostró una alta precisión, debido a la confiabilidad de las variables ambientales y al número de puntos de registros (235).

**Palabras claves:** Cambio de uso de suelo, *Cordia dodecandra*, Distribución Potencial, Máxima Entropía, Patrones de distribución y Variables Ambientales.

## SUMMARY

In the Peninsula of Yucatan, the Siricote (*Cordia dodecandra* A.DC) is considered a species of cultural and economic importance by their multiple uses. However, because of the over-exploitation, changes land use and the transformation of its habitat the wild populations have decreased. Therefore, it is necessary to generate basic information of the species such as: its distribution, identify environmental variables, habitat use, among other things, that will allow us to identify the area of distribution and thus to generate strategies that contribute to the conservation, sustainable management and recovery of the species. The objectives of this study were: (i) Identify potential distribution of *C. dodecandra* in natural environments through geographic modeling considering 15 environmental variables common in the Yucatan Peninsula; (ii) estimate the surface (hectares) that the species occupy, as well as the optimal areas for its potential distribution and how it is affected by land use change in the Yucatan Peninsula; (iii) identify the environmental variables which influence in the distribution of *C. dodecandra* and the importance of these variables. A total of 393 points where siricote has been reported were obtained from different sources after the analysis of the database 160 points were selected: 79 in Yucatan, 45 in Campeche and 36 in Quintana Roo. In addition, 75 points were sampled directly to test the program. In the model, 15 environmental variables were considered. Results showed a decrease in the potential of the siricote range to contrast them with the change of land use in the Yucatan Peninsula. The loss of potential coverage is of the 6.5% considering an area of 133,700.8 Km<sup>2</sup>, peninsular. Precipitation of wettest month, climate, geomorphology and soil moisture are the environmental variables that have a major influence in the potential distribution. The model obtained through the program MaxEnt showed a high precision, due to the reliability of the variable environmental and to the number of points of records (235).

**Keywords:** Land use change, *Cordia dodecandra*, Distribution potential, Maximum Entropy, Distribution patterns and Environmental variables.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	iv
SUMMARY .....	v
ÍNDICE GENERAL .....	vi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Nicho ecológico .....	3
2.2 Distribución de especies .....	5
2.3 Factores ambientales que afectan la distribución de especies .....	6
2.4 Factores antropogénicos que afectan la distribución de especies .....	6
2.5 Herramientas de conservación .....	7
2.6 Modelo de Distribución de Especies (MDE) .....	8
2.7 Captura y preparación de los datos de presencia .....	9
2.8 Selección y preparación de variables ambientales .....	9
2.9 Aplicaciones del Modelo de Distribución de Especies (MDE) utilizando el programa MaxEnt .....	10
2.9.1 Evaluación y limitaciones del modelado .....	11
2.10 Descripción botánica de <i>Cordia dodecandra</i> A.DC .....	13
2.11 Distribución .....	13
2.12 Siricote en la Península de Yucatán .....	14
3. OBJETIVOS .....	15
3.1 Objetivo general .....	15
3.2 Objetivos particulares .....	15
4. REFERENCIAS .....	16
5. ARTÍCULO CIENTÍFICO .....	21
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DEL SIRICOTE ( <i>Cordia dodecandra</i> A.DC.) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO .....	21
6. CONCLUSIONES GENERALES .....	47
ANEXOS .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Concepto de nicho ecológico de Grinell, Elton y Hutchinson, donde $F$ se refiere a nicho fundamental o potencial y $R$ al nicho realizado. Tomado de Benito (2009).....	3
<b>Figura 2.</b> Diagrama BAM. Tomado de Soberón y Nakamura (2009). .....	4

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El estudio de la distribución de las especies, así como las causas que afectan dicha distribución, representan las bases para futuras investigaciones y la dirección para los esfuerzos de conservación (Pearson y Dawson, 2003). En México se conoce poco acerca de la distribución geográfica de las plantas, algunos trabajos abordan aspectos generales de la distribución de conjuntos de taxa a nivel de tipos de vegetación, de sus afinidades geográficas o registran patrones de riqueza local y regional a partir de estudios florísticos, pero muy poco se ha hecho para documentar el área total que ocupa una sola especie (Skov, 2000), es por ello que una forma de incrementar la información con la que se cuenta es a través de mapas de distribuciones de especies, utilizar estos mapas para identificar sitios potenciales, con una alta riqueza de especies y prioritarios para la conservación.

Los tradicionales mapas de puntos (localidades de presencia y/o ausencia) representan la distribución de forma limitada, mientras que los mapas delineados por los expertos en muchas ocasiones sobrestiman o subestiman las distribuciones dependiendo del conocimiento que se tenga del grupo en cuestión (Graham y Hijmans, 2006). Las áreas de distribución están determinadas por la interacción dinámica de diversos factores (bióticos, abióticos, potencial dispersivo y evolutivos) que operan con diferente intensidad y a distintas escalas (Pearson y Dawson 2003), tanto espaciales como temporales y permiten cambios en el ambiente sobre dicha distribución (Franklin, 2009).

Es por ello que conocer y entender la distribución de las especies en un área determinada es de gran interés no sólo desde un punto de vista de manejo de los recursos naturales, sino desde un contexto de conservación biológica (Peterson *et al.*, 2011). Debido a las limitaciones para inventariar la biodiversidad en áreas de gran extensión y la escasez de información sobre la presencia de muchas especies, es necesario predecir la presencia de dichas especies en áreas de interés a partir de modelos matemáticos (Stockwell y Peters, 2009; Phillips *et al.*, 2006). Como consecuencia, estos modelos se convierten en una herramienta clave para discernir de qué forma las especies pueden estar distribuidas y para evaluar variables

ambientales de importancia que permitan explicar la presencia de las mismas (Cassini, 2011).

La distribución geográfica potencial de las especies se refiere al área geográfica que reúne las condiciones ambientales y biológicas donde una especie puede establecerse. Los modelos de nicho ecológico, también llamados modelos de idoneidad de hábitat o de distribución de especies, son herramientas que permiten conocer la distribución potencial (Arreola, 2013).

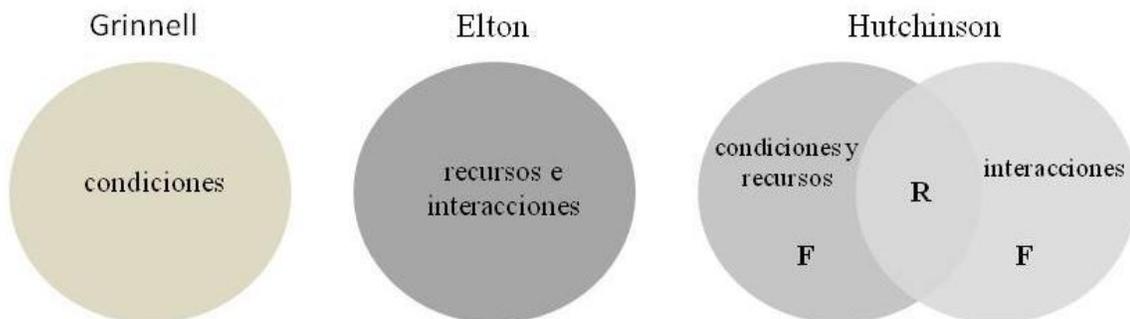
En la Península de Yucatán, el Siricote (*Cordia dodecandra* A. DC) es considerado una especie de importancia económica y cultural por sus múltiples usos: artesanal, ornamental, maderable, construcción, comestible (los frutos se utilizan en la elaboración de conservas), medicinal, leña y apicultura, las hojas son empleadas como lijas o para lavar trastes en las comunidades rurales. Debido a la sobreexplotación y a la transformación de su hábitat las poblaciones silvestres han disminuido considerablemente; esto junto con la poca información acerca de su distribución geográfica en la Península de Yucatán, llevó a que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2007), definiera al siricote como una especie prioritaria, teniendo como objetivo a corto plazo la identificación, conservación y manejo de su germoplasma.

Por lo tanto, es necesario generar información básica de la especie, como las áreas de distribución potencial, cobertura ocupada (hectáreas), identificar las variables ambientales que modelan su distribución, uso de hábitat, entre otros aspectos, que permita generar estrategias que coadyuven a la conservación, manejo sustentable y recuperación tanto de la especie como de sus hábitats. El objetivo de este estudio fue modelar la distribución geográfica potencial del siricote, establecer la importancia relativa de las variables ambientales en la conformación de la distribución y conocer el porcentaje de superficie que ocupa la especie en la Península de Yucatán.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Nicho ecológico

El conjunto de condiciones bióticas y abióticas que determinan la presencia y persistencia de una especie es conocido como su nicho ecológico (Hutchinson, 1957). En 1957, Hutchinson redefine el concepto de nicho como *un hipervolumen en el espacio ecológico multidimensional, determinado por los requerimientos de la especie para reproducirse y sobrevivir*. Más concretamente, Hutchinson distingue el nicho fundamental (fisiológico o potencial), definido como la respuesta de las especies al ambiente en ausencia de interacciones bióticas (competencia, depredación, mutualismo), del nicho realizado (ecológico o real) definido como las dimensiones ambientales en las cuales la especie puede sobrevivir y reproducirse, incluyendo los efectos de las interacciones bióticas (Figura 1).

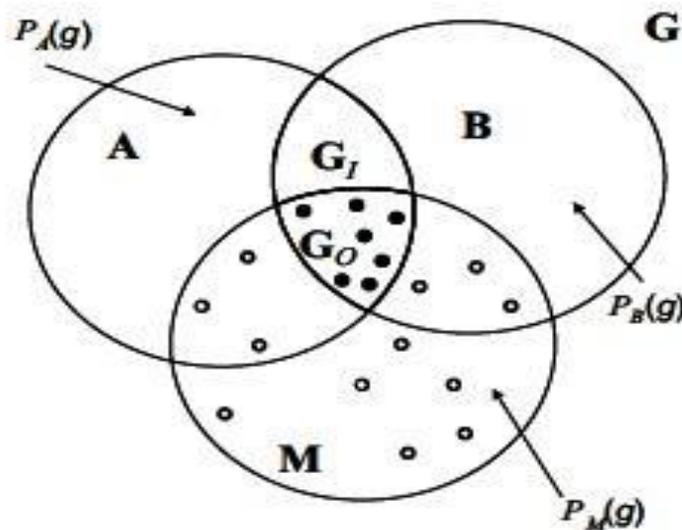


**Figura 1.** Concepto de nicho ecológico de Grinnell, Elton y Hutchinson, donde *F* se refiere a nicho fundamental o potencial y *R* al nicho realizado. Tomado de Benito (2009).

Como una propuesta novedosa y basada en diversas concepciones del nicho ecológico, Soberón y Nakamura (2009) definen dos tipos de nicho: *Grinnelliano* (1917) y *Eltoniano* (192). El primero está determinado por variables que no interactúan con otras y cambian poco (*scenopoéticas*) y el segundo se refiere al espacio con interacciones ecológicas y consumo de recursos. Soberón y Nakamura, proyectaron el nicho Grinnelliano en dos perspectivas, ambiental (A) y geográfica (B), y se

apoyaron en la definición de Hutchinson, (1957) sobre el Nicho fundamental (NF). Aquí se encuentra un subconjunto de combinaciones ambientales que Jackson y Overpeck denominaron *nicho potencial* (NP), el cual es la intersección de las variables ambientales y el nicho fundamental (NF). Como parte del NP, el *nicho realizado* (NR) representa los sitios que las especies ocupan actualmente. La distribución de especies se representa mediante el diagrama conocido como “BAM” (*biotic, abiotic and movements*; Figura 2). Este contempla las interacciones bióticas (B), ambientales o abióticas (A) y el movimiento (M) de una especie durante un intervalo de tiempo en el espacio geográfico (G). La región donde las condiciones biológicas son favorables es representada como la intersección de B y M e indica el área donde las especies tienen acceso de acuerdo con las capacidades de movilización y la estructura de las barreras del medio. La zona denotada como G muestra el área de distribución actual para las especies y los puntos en esta representan los lugares donde se les ha encontrado.

Finalmente, la distribución potencial ( $G_0$ ) es el área que puede ser ocupada si ocurren cambios en la dispersión poblacional (Soberón y Peterson, 2005; Soberón y Nakamura, 2009; Peterson *et al.*, 2011). Bajo estos supuestos, la distribución potencial puede considerarse como el espacio geográfico con posibilidad de ser ocupado por las especies cuando las condiciones ambientales y biológicas son idóneas.



**Figura 2.** Diagrama BAM. Tomado de Soberón y Nakamura (2009).

## 2.2 Distribución de especies

Una de las metas de la ecología es la búsqueda de los factores que determinan la abundancia y la distribución de los organismos. Se sabe bien que los factores abióticos (precipitación pluvial, temperatura, evotranspiración) y bióticos (competencia, depredación, parasitismo etc.) interactúan y limitan la abundancia y distribución de las especies (Begon *et al.*, 2006). A pesar de ello, el conocimiento actual sobre la distribución de la mayoría de las especies sigue siendo limitado. Una forma de resolver esta carencia de información ha sido el uso de modelos de distribución de especies integrando los sistemas de información geográfica.

Los modelos de distribución de especies, también conocidos como modelos de nicho ecológico, generan la distribución potencial de la especie o las áreas de vegetación donde puede desarrollarse, mediante el uso de información primaria (datos de presencia y/o ausencia de la especie) y secundaria (datos ambientales, uso de suelo del área donde se quiere predecir la distribución de la especie estudiada).

Debido a la dificultad de contar con datos suficientes para representar el área de distribución de un taxón, en los últimos años se ha propuesto el uso de modelos espaciales, los cuales permiten relacionar datos de presencia de las especies con predictores ambientales para proyectar su distribución potencial y las probables consecuencias de los impactos ambientales, estos permiten disminuir la incertidumbre en estudios biogeográficos por la falta de datos y variaciones en la muestra, además de que producen información sobre las afinidades ambientales de los taxa estudiados (Espadas-Manrique *et al.*, 2003; Guisan *et al.*, 2007).

Los modelos de distribución pueden ser usados para diversos objetivos: para construir mapas de riqueza de especies y endemismos (Espadas-Manrique, 2004), distribución de especies leñosas raras en la Península de Yucatán (Tetetla-Rangel *et al.*, 2012). Es por ello que los modelos de distribución también son clave en la toma de decisiones para definir estrategias de conservación y manejo de las especies.

### **2.3 Factores ambientales que afectan la distribución de especies**

Las especies de plantas presentes en un área determinada conforman las comunidades vegetales (herbáceas, arbustivas o arbóreas) de acuerdo a las características climáticas y/o edáficas del territorio ocupado. Se reconocen diversos factores ambientales que intervienen en la distribución, como son las interacciones entre las especies con su medio físico y biótico como determinantes de la estructura de la vegetación y su composición de especies.

Entre los procesos más comúnmente reconocidos está la competencia entre las especies por la captura de los recursos disponibles en la comunidad. Por ejemplo se reconoce ampliamente la competencia por la luz como un factor estructurador en las comunidades selváticas, y de igual forma, los mecanismos derivados de la competencia por el agua en la estructuración de las comunidades desérticas. (Durán y García, 2012). La radiación solar, además de ejercer influencia sobre la temperatura y la humedad presentes en un ecosistema, se le considera como el factor más importante para el crecimiento y desarrollo de una planta (Jaramillo-Robledo, 2005).

### **2.4 Factores antropogénicos que afectan la distribución de especies**

Entre los factores que inciden en la distribución de especies, existen tres en los que la acción humana tiene una importante influencia sobre la biodiversidad y su distribución: los cambios de uso del suelo, el calentamiento global, y las políticas de conservación desarrolladas en los últimos años.

El cambio del uso del suelo, es de los más graves, pues conlleva en muchos casos la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales. Por ello es importante conocer la distribución geográfica actual y la pérdida del hábitat de las especies vegetales en México causado por cambios de uso de suelo y las debidas al cambio climático. El cambio climático representa un reto para la conservación de la biodiversidad, pues diversos modelos proyectan cambios en los patrones de las variables ambientales y con ello se espera que también cambie la distribución de áreas usadas por muchas especies (Loarie *et*

*al.*, 2009). Para aquellas especies cuya distribución es restringida (endémicas y microendémicas), se incrementará el riesgo de extinción, y algunas de hecho se extinguirán por efecto directo del cambio climático y en general por la degradación ambiental. (Pounds, 2001).

## **2.5 Herramientas de conservación**

Una de las herramientas más importantes dentro de la conservación de la biodiversidad para estudiar los efectos del cambio de uso de suelo, son los modelos de distribución de especies en condiciones actuales y de cambio de las condiciones con relación al clima, uso de suelo y en diferentes variables ambientales (Elith y Leathwick, 2009). Esta aproximación puede permitir conocer aquellas especies en riesgo y las áreas geográficas donde pueden ocurrir más alteraciones en su biodiversidad en términos de riqueza de especies y su composición (Elith *et al.*, 2011).

Otra herramienta importante es el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los estudios sobre la distribución actual de especies para intentar predecir hábitat potenciales, algunos autores han observado que estos sistemas pueden ser un instrumento útil para crear mapas de distribución y hábitat potencial, abundancia y riqueza de especies, así como para la fácil y rápida detección, evaluación y manejo de especies invasivas, y para determinar procesos como la dispersión, adaptación, competencia, sucesión, presiones provocadas por incendios y pastoreo, entre otras (Peterson, 2001).

Los SIG proporcionan las herramientas que permiten medir fácilmente variables ambientales que están disponibles en formato digital para cualquier punto donde se ha examinado la distribución de una especie. Estas variables se pueden probar estadísticamente como predictores potenciales de la distribución de una especie dada. Con los resultados de los modelos estadísticos y con la ayuda de un SIG, se pueden generar mapas predictivos de la distribución de la especie, siempre y cuando se tengan mapas digitales de los predictores en el área de estudio (Rico-Alcázar *et al.*, 2001). Así también, los modelos de distribución de especies son creados en un SIG o pueden ser

desplegados en ellos para dar una representación visual de la cobertura ambiental y el hábitat potencial o la abundancia (Holcombe *et al.*, 2007).

## **2.6 Modelo de Distribución de Especies (MDE)**

La distribución potencial de las especies puede ser determinada mediante los modelos de idoneidad de hábitat ya que tienen como propósito ubicar lugares adecuados para la supervivencia de las poblaciones por la identificación de los requerimientos ambientales (Soberón y Nakamura, 2009).

Cuando se habla de distribución deben distinguirse dos categorías diferentes: la real (también llamada conocida) y la potencial. La distribución real se refiere a los sitios en los que se han observado o colectado individuos y la potencial hace alusión a las áreas que tienen condiciones ambientales muy similares a los sitios donde se encuentran las especies y que tienen muy altas probabilidades de estar ocupadas por estas mismas (Gámez, 2011).

Los MDE son sólo un tipo dentro de estos modelos o simulaciones, pero son un ejemplo de creciente importancia. En las últimas décadas se ha producido un progresivo interés en el modelado de la distribución de especies, que resulta de la confluencia entre la creciente necesidad de información sobre la distribución geográfica de la biodiversidad y el desarrollo de nuevas y mejoradas técnicas de modelado (Franklin, 2009). Los MDE extrapolan datos de la distribución de las especies en el espacio y el tiempo, generalmente con base a modelos estadísticos.

El propósito de los MDE y, en particular, de los mapas predictivos resultantes, es proporcionar información espacialmente explícita, es decir asociada a una ubicación en el espacio geográfico, sobre las especies y otros elementos de la biodiversidad para muy diversas aplicaciones, tales como el desarrollo de planes de conservación, evaluación de riesgos y gestión de recursos (Franklin, 2009).

## **2.7 Captura y preparación de los datos de presencia**

Los registros de presencia son imprescindibles para generar modelos de distribución. Estos registros de presencia se basan en pares de coordenadas que sitúan en el espacio geográfico localidades en las que se ha detectado la presencia de la especie o comunidad vegetal (Gómez *et al.*, 2007).

Algunos algoritmos de modelado necesitan también registros de ausencia, sin embargo, estos datos de ausencia son difíciles de conseguir y generalmente están sujetos a gran incertidumbre. Organizaciones como la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF), la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO), bases de datos en línea Jardín Botánico de Missouri, World International Network REMIB, entre muchos otros, están trabajando a distintas escalas para hacer los datos sobre biodiversidad accesibles vía internet, desarrollando protocolos para compartir la información. Estos proyectos proporcionan datos de incalculable valor que se utilizan para describir el área geográfica de las especies.

Una vez compilados los datos de presencia del objeto de estudio, es necesario procesarlos, (control de calidad), filtrando errores (fundamentalmente de tipo taxonómico) analizando la presencia de sesgos en el muestreo y adaptando los registros de presencia al formato específico requerido para la aplicación del algoritmo de modelado.

## **2.8 Selección y preparación de variables ambientales**

Una cuestión importante a la hora de modelar la distribución geográfica de las especies y comunidades es decidir que variables se deben utilizar para cumplir con nuestros objetivos. Debido a la complejidad del nicho ecológico, se hace prácticamente imposible trabajar con todas las variables que lo definen, por lo que para aumentar la precisión y poder predictivo del modelo, el número de variables descriptivas utilizadas debe reducirse a un número razonable (Harrell *et al.*, 1996). Por otra parte, la selección de variables descriptivas requiere considerar la jerarquía espacial a la que están sujetas las variables que controlan la distribución de las plantas (Merow *et al.*, 2013).

Las variables climáticas controlan los patrones de distribución a extensiones amplias y resoluciones bajas, mientras que las variables topográficas y geológicas son fundamentales a pequeñas extensiones y altas resoluciones espaciales. Gracias al reciente desarrollo de modelos dinámicos, junto a estas variables habitualmente utilizadas en el modelado geográfico de las especies, es cada vez más frecuente el uso de elementos dinámicos tales como la capacidad dispersiva de las especies, los efectos de la competencia por los recursos disponibles en el medio así como variables demográficas, lo que permite aproximaciones cada vez más realistas (Guisan y Zimmermann, 2000).

## **2.9 Aplicaciones del Modelo de Distribución de Especies (MDE) utilizando el programa MaxEnt**

MaxEnt es una técnica de aprendizaje de máquina que combina estadística, máxima entropía y métodos bayesianos, cuyo propósito es estimar distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información incompleta de datos ambiental (Phillips *et al.*, 2006). Se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida o deducida a partir de condiciones ambientales dónde ha sido observada (registrada), evitando hacer cualquier suposición que no sea soportada por los datos.

Entropía deriva del griego *em* que significa sobre, en y cerca de; y *sqops* que significa giro, cambio y evolución, y se define como el grado de desorden y de caos que existe en la naturaleza. Los sistemas tienden a buscar su estado más probable (posible), es decir, busca un nivel más estable que tiende a ser lo más caótico. Se llama estado de máxima entropía en el preciso instante cuando el sistema esté a punto de cambiar de un estado “e” a un estado “e+1”, entonces la máxima entropía es la reducción del caos o el desorden, en el caso de los MDE, modelan todo lo que es conocido y no supone nada sobre lo desconocido, por lo que escoge la distribución más uniforme (Cuesta, 2006).

A pesar de que existe un amplia gama de modelos similares, MaxEnt posee cuatro ventajas sobre los demás: (i) requiere solo datos de presencia, versus otros modelos

que requieren datos de presencia y/o ausencia; (ii) puede utilizar variables tanto continuas como categóricas y el producto es un pronóstico continuo que varía de 0 a 100 y se interpreta como un grado relativo de adecuación (en qué medida un lugar es adecuado para que la especie esté presente ) (iii) su consistente buen desempeño en comparación con otros métodos similares (Elith *et al.*, 2006), especialmente con un número pequeño de muestras; y (iv) su disponibilidad gratuita.

Los buenos resultados de este programa y su facilidad de uso, lo han extendido por la comunidad científica y desde su disponibilidad en el año 2004, ha sido ampliamente utilizado en el modelado de la distribución de las especies con diversos objetivos (Elith *et al.*, 2011).

Dentro de las diversas aplicaciones de MaxEnt que se pueden nombrar se encuentran la priorización de zona para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica, modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, y la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas.

### **2.9.1 Evaluación y limitaciones del modelado**

La evaluación es un paso fundamental en la elaboración de cualquier modelo de distribución. Al evaluar un MDE no se pone en cuestión su veracidad, ya que los modelos no pueden ser probados como verdaderos o falsos, sino su capacidad para proporcionar buenas hipótesis comparables y su precisión en la predicción de patrones biológicos (Guisan y Zimmermann, 2000). Por tanto, lo que realmente se evalúa es el grado de ajuste del resultado a los datos reales. Sin embargo, hay algunos casos en los que los modelos no pueden ser evaluados ya que los sucesos que estudian aún no han tenido lugar, como los caso de las predicciones sobre el efecto del cambio climático en la distribución de las especies y comunidades.

Una forma de validar la capacidad predictiva del modelo es por medio de la elaboración de una matriz de confusión (o de contingencia), para ello es necesario que los pronósticos del modelo sean binarios, o sea, que solo indiquen zonas apropiadas e inadecuadas para la presencia de la especie (1/0) y para ello es necesario seleccionar

previamente un umbral de presencia. La matriz de confusión recoge las frecuencias de cada uno de los cuatro tipos posibles de pronóstico y nos indica el error que ha cometido el modelo en su predicción.

Los falsos positivos (*b*) provocan una sobre-predicción y se denominan Error por comisión. Los falsos negativos (*c*) provocan una infra-predicción y se denominan error por omisión. El error por comisión puede ser real o aparente, ya que un “falso positivo” puede significar un sobre-predicción del modelo o una predicción de nicho potencial de la especie. El error por omisión, es mucho más importante y peor, pues no predice lugares de presencia que pueden ser de importancia crucial para la supervivencia de la población.

Otra forma de validar según Guisan y Zimmermann (2000), es por medio de dos aproximaciones: la primera se basa en utilizar un único conjunto de datos (registros de presencia) para calibrar el modelo y posteriormente evaluarlo mediante procedimientos como *bootstrap*, validación cruzada o *jack-knife*. La segunda aproximación consiste en utilizar dos conjuntos de datos independientes, uno para calibrar el modelo y el otro, obtenido de una fuente distinta o una prospección de campo, para evaluarlo mediante medidas como la aproximación ROC (del inglés *receiver operating characteristic*). Sin embargo, cuando se trata con datos procedentes de atlas o bases de datos, puede resultar difícil obtener conjuntos de datos independientes (Lobo, 2008). En estos casos, una partición aleatoria de la muestra de presencia, separando los datos en un conjunto de calibrado y otro de evaluación, es a menudo la única solución disponible para evaluar el modelo.

Muchas de estas limitaciones son inherentes al proceso de modelado y, por tanto, difícilmente salvables, mientras que otras están siendo objeto de investigaciones en la actualidad (Pearson y Dawson, 2004), como por ejemplo el efecto de la escala, las interacciones bióticas, o las capacidades dispersivas de las especies. Al construir un modelo se asume que la especie o comunidad vegetal está en (pseudo) equilibrio con las condiciones ambientales (Araújo y Pearson, 2005). Esto supone que la distribución de la especie o comunidad es estable en el tiempo y el espacio, algo que generalmente se desconoce (Mateo *et al.*, 2011). Sin embargo, esta limitación resulta menos

restrictiva para especies o comunidades con alta persistencia o que reaccionan lentamente a la variabilidad ambiental (Benito, 2009).

Finalmente, conociendo las limitaciones de los MDE, estaremos en una mejor posición para hacer un uso apropiado de sus resultados (Whittaker *et al.*, 2005). Entender las limitaciones ambientales del modelado de la distribución de especies a través de estudios a distintas escalas, resulta fundamental a la hora de desarrollar aplicaciones útiles que puedan proporcionar predicciones fiables sobre la distribución de las especies.

### **2.10 Descripción botánica de *Cordia dodecandra* A.DC**

Pertenece a la familia Boraginaceae, la cual está compuesta de hierbas, arbustos o árboles, generalmente con pubescencia cistolítica. (Campos, 2010a), es un árbol caducifolio de porte mediano de 8 hasta 12 m de altura y con un diámetro a la altura del pecho de 40 hasta 60 cm, tronco derecho, cilíndrico con pequeñas gambas y ramas ascendentes. Presenta copa redondeada o piramidal muy densa y redondeada en árboles jóvenes, menos densa en árboles maduros (mayores de 15 años). Corteza externa fisurada, ligeramente escamosa con piezas longitudinales, color grisácea o blanquecina y lisa. Hojas simples de color verde oscuro en el haz y verde pálido en el envés, muy ásperas, pecioladas y alternas, ápice obtuso, agudo o, redondeado, dispuestas en espiral, aglomeradas en las puntas de las ramas. El envés tiene tricomas muy duros. Flores en panículas axilares y terminales de 5 a 10 cm de largo y 4 cm de ancho con pétalos anaranjados a anaranjado-rojizos. Producen néctar y son polinizados por abejas y otros insectos. La madera es sin lustre, de textura mediana, dura y pesada, tiene una albura castaña clara y duramen castaño rojizo oscuro a negruzco, es moderadamente durable expuesta a la intemperie (Roig *et al.*, 2012).

### **2.11 Distribución**

El siricote se distribuye desde el Sureste de México hasta el Norte de Guatemala y Belice. En México el siricote se encuentra distribuido en la zona seca del centro de

Veracruz, en la Península de Yucatán, en la depresión central de Chiapas y en las partes bajas de Tabasco (CONAFOR, 2007)

### **2.12 Siricote en la Península de Yucatán**

El siricote es considerado un árbol de uso múltiple, sin embargo, hoy en día es una especie que tiene poblaciones silvestres muy bajas, debido principalmente a su sobreexplotación, cambio de uso de suelo y por la destrucción de su ecosistema (Durán y Méndez, 2010). Su población prácticamente ha quedado confinada a predios particulares de las zonas urbanas y poblaciones rurales, específicamente como árbol cultivado con fines comestibles y de ornato (CONAFOR, 2007), originalmente se encontraba distribuido en todo el estado, ya que formaba parte de la composición de la selva baja caducifolia, selva baja subcaducifolia y selva mediana subcaducifolia; sin embargo, actualmente es difícil ubicar ejemplares silvestres, esto resulta principalmente de la tala clandestina, sobreexplotación y la destrucción de su hábitat (Durán y Trejo, 2010). Estudiar el área de distribución de *Cordia dodecandra* en Yucatán, nos permitirá identificar si existen patrones de distribución de la especie, así como identificar las variables ambientales a las que está relacionada la especie y proponer áreas de conservación potencial. Conocer la distribución geográfica conocida y potencial nos ayudará aportar bases para proponer estrategias de conservación de la especie.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

- Evaluar la distribución geográfica potencial de *Cordia dodecandra*, en la Península de Yucatán.

#### 3.2 Objetivos particulares

- Identificar la distribución potencial de *C. dodecandra* en ambientes naturales por medio de la modelación geográfica de las 15 variables ambientales seleccionadas para la Península de Yucatán.
- Estimar la superficie (hectáreas) que ocupa las zonas óptimas de distribución potencial *C. dodecandra* en comparación con el cambio de uso de suelo actual en la Península de Yucatán
- Analizar la importancia relativa de las variables ambientales en la conformación de la distribución potencial de *C. dodecandra*, usando como aproximación el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt).

#### 4. REFERENCIAS

- Araújo, M. y R. Pearson. 2005. Equilibrium of species distributions with climate. *Ecography* 28:(5) 693-695.
- Arreola, R. 2013. Distribución potencial de *scolytus Mundus* wood y su Comportamiento bajo Escenarios de cambio climático En la reserva de la biósfera Mariposa monarca. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. P. 78.
- Begon, M., Townsend, C.R. y J. Harper. 2006. Ecology. From individual to Ecosystems. 4ª ed. Blackwell Publishing. Oxford. 738 p.
- Benito, B. 2009. Ecoinformática aplicada a la conservación: simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía. PhD Thesis. Universidad de Granada, Granada. P. 237.
- Campos, M. 2010a. Boragináceae. *In*: Durán, R. y M. Méndez, eds. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Yucatán, México. p: 155.
- Campos, M. 2010b. Boragináceae *.In*: Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega, eds. La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. p: 222-227.
- Cassini, M. 2011. Ecological principles of species distribution models: the habitat-matching rule. *Journal of Biogeography* 38(11): 2057-2065.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. CIRICOTE (*Cordia dodecandra* A.DC.). Protocolo para su Colecta, Beneficio y Almacenaje. Departamento de conservación y restauración de ecosistemas forestales programa de germoplasma forestal estado de Yucatán. CONAFOR. Mérida, Yucatán. 21 p.

- Cuesta, J. 2006. La entropía como creadora de orden. *Revista Española de Física* 20(4): 13-19.
- Durán, R. y G. García 2012. Distribución espacial de la vegetación. *In*: Durán, R. y M. Méndez, eds. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Yucatán, México. p: 131-135
- Durán, R. y M. Méndez. 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. 1ª ed. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Mérida, Yucatán. 496 p.
- Durán, R. y J. Trejo. 2010. Plantas vasculares prioritarias para la conservación. *In*: Durán, R. y M. Méndez, eds. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Yucatán, México. p: 194-196.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J. y A. Lehmann. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29(2): 129-151.
- Elith, J. y J. Leathwick. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 40: 677–697.
- Elith, J., Phillips, J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. y C. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17(1): 43-57.
- Espadas-Manrique, C., Durán, R y J. Argáez. 2003. Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Diversity and Distribution* 9: 313-320.
- Espadas-Manrique, C. 2004. Estudio fitogeográfico de las especies endémicas de la Península de Yucatán. Tesis Doctoral. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán. 155 p.

- Franklin, J. 2009. Mapping Species Distribution: Spatial inference and prediction. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, U.K. 320 p.
- Jaramillo-Robledo, A. 2005. La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de las plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Académica Colombiana de Ciencia* 29:371-382.
- Gámez, P. 2011. Guía para la elaboración de mapas de distribución potencial. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Boletín Técnico. 38 p.
- Gómez, D., Monterroso, R. y R. Tinoco. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques* 13(2): 29-49.
- Graham, C. y R. Hijmans. 2006. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. *Glob Ecol Biogeogry* 15(6): 578-587.
- Guisan, A. y N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modeling* 35(23): 147-186.
- Guisan, A., Zimmermann, N., Elith, J., Graham, C.H., Phillips, S. y A. Peterson. 2007. What the matter for predicting the occurrences of trees: techniques, data or species' characteristics? *Ecological Monographs* 77(4): 615-630.
- Harrell, F., Lee, K. y D. Mark. 1996. Multivariable prognostic models: Issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. *Statistics in Medicine* 15(4): 361-387.
- Holcombe, T., Stohlgren, J. y C. Jarnevich. 2007. Invasive species management and research using GIS. In: Witmer, G., Pitt, W. y K. Fagerstone eds. *Managing Vertebrate Invasive Species: Proceedings of an International Symposium*. National Wildlife Research Center, Fort Collins, CO. p: 108-114.
- Hutchinson, G. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.

- Loarie, S., Duffy, P., Hamilton, H., Asner, G., Field, C. y D. Ackerly. 2009. The velocity of climate change. *Nature* 462: 1052–1055.
- Lobo, J. 2008. More complex distribution models or more data that are representative? *Biodiversity Informatics* 5: 14-19.
- Mateo, R., Felicísimo, A. y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84(2): 217-240.
- Merow, C., Smith, J. y J. Silander. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Echography* 36(10): 1058-1069.
- Pearson, R. y T. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bio-climate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12(5): 361-371.
- Pearson, R. y T. Dawson. 2004. Bioclimate envelope models: What they detect and what they hide - response to Hampe. *Global Ecology and Biogeography* 13(2): 469-476.
- Peterson, A. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *Condor* 103(3): 599-605.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, G., Anderson, P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. y B. Araújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. 1ª ed. Princeton, University Press. 314 p.
- Phillips, S., R. Anderson, R. y R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190(34): 231-259.
- Pounds, J. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410.
- Rico-Alcázar L., Martínez, J., Morán, S., Navarro, J. y D. Rico. 2001. Preferencias de hábitat del Águila azor Perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en Alicante (E de España) a dos escalas espaciales. *Ardeola* 48: 55–62.

- Roig, J., Villanueva, D., Jiménez, O., John, H., Barajas, M. y H. Luckman. 2012. Anatomía de maderas en comunidades rurales de Yucatán. 1ª ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 42 p.
- Skov, F. 2000. Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon* 49(3): 503-515.
- Soberón, J. y A. Peterson. 2005. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Soberón, J. y M. Nakamura. 2009. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *PNAS* 106(3): 19644 – 19650.
- Stockwell, D. y D. Peters. 2009. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Systems* 13: 143-158.
- Tetetla-Rangel, E., Durán, R., Hernández-Stefanoni, J. y J. Dupuy. 2012. Distribución espacial de la riqueza de especies leñosas raras de la Península de Yucatán y su relación con las áreas naturales protegidas. *Tropical Conservation Science* 5(3): 320-339.
- Whittaker, R., Araújo, M., Jepson, P., Ladle, R., Watson, J. y K. Willis. 2005. Conservation biogeography: Assessment and prospect. *Diversity and Distributions* 11(1): 3-23.

## 5. ARTÍCULO CIENTÍFICO

### DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA POTENCIAL DEL SIRICOTE (*Cordia dodecandra* A.DC.) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

### POTENTIAL GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SIRICOTE (*Cordia dodecandra* A.DC.) IN THE PENÍNSULA OF YUCATÁN, MÉXICO

J.L. Cámara-Romero<sup>1</sup>, J.J.M. Jiménez-Osornio<sup>1</sup>, H. Estrada-Medina<sup>1</sup> y F. HernándezGarcía<sup>2</sup>

1 Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán, km 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil, A.P. 4-116 Col. Itzimna 97100 Mérida, Yucatán, México.

2 Dpto. de Producción Vegetal y Microbiología. E.P.S. de Orihuela. Universidad Miguel Hernández. Ctra. de Beniel Km. 3,2 C.P. 03312 Orihuela, Alicante, España.

#### RESUMEN

Identificar los patrones de distribución de las especies constituye una labor indispensable para el conocimiento y conservación de la biodiversidad. Una opción que actualmente se utiliza para conocer el área de la distribución geográfica de las especies a diversas escalas es la modelación ecológica. En la Península de Yucatán, el Siricote (*Cordia dodecandra*) es considerada una especie de importancia económica por sus múltiples usos, pero debido a la sobreexplotación, los cambios de uso de suelo y la transformación de su hábitat las poblaciones silvestres han disminuido. Los objetivos del estudio fueron: (i) Identificar la distribución potencial de *C. dodecandra*

**Nota:** El texto fue elaborado acorde con las normas editoriales de la revista *MADERA Y BOSQUES* donde fue enviado.

en ambientes naturales por medio de la modelación geográfica de 15 variables ambientales (ii) Estimar la superficie (hectáreas) que ocupa las zonas óptimas de distribución potencial *C. dodecandra* en comparación con el cambio de uso de suelo en la Península de Yucatán (iii) Analizar la importancia relativa de las variables ambientales en la conformación de la distribución potencial de *C. dodecandra*. Para modelar la distribución, se aplicó el modelo de máxima entropía (MaxEnt). Se obtuvieron 160 puntos de presencia de las bases de datos en línea, de los cuales 79 puntos se localizaron en Yucatán, 45 en Campeche y 36 en Quintana Roo; además se localizaron 75 puntos de presencia en campo para probar el programa. Los resultados mostraron una disminución del área de distribución potencial del siricote al contrastarlos con los cambio de uso de suelo ocurridos en la Península de Yucatán. La pérdida de cobertura potencial es del 6.5% considerando un área de 133,700.8 Km<sup>2</sup> de superficie peninsular. La precipitación del mes más húmedo, el clima, la geomorfología y la humedad del suelo son las variables ambientales que ejercen una mayor presión en la distribución potencial

**Palabras claves:** Cambio de uso de suelo, *Cordia dodecandra*, Distribución potencial, Máxima entropía, y Variables ambientales.

### **ABSTRACT**

Identify the patterns of species distribution is a work essential for the understanding and conservation of biodiversity. An option that is currently used for the geographical range of species at different scales is the ecological modeling. In the Yucatan Peninsula, the Siricote (*Cordia dodecandra*) is considered a species of economic importance for its multiple uses, but due to over-harvesting, land use changes and the transformation of its habitat wildlife populations have declined. Them objectives of the study were: (i)

identify the distribution potential of *C. dodecandra* in environments natural by means of the modeling geographical of 15 variable environmental (ii) estimate it surface (hectares) that occupies them areas optimal of distribution potential *C. dodecandra* in comparison with the change of use of soil in the Peninsula of Yucatan (iii) analyze it importance relative of them variable environmental in the conformation of it distribution potential of *C. dodecandra*. To model the distribution, maximum entropy (MaxEnt) model was applied. Were obtained 160 points of presence of the databases online, of which 79 points were located in Yucatan, Campeche and Quintana Roo 36 45; also be located 75 points of presence in field to test the program. The results showed a decrease of the area of distribution potential of the siricote to the contrasting them with them change of use of soil occurred in the Peninsula of Yucatan. The loss of coverage potential is of the 6.5% whereas an area of 133,700.8 Km<sup>2</sup> of surface peninsular. The precipitation of the month more wet, the climate, the geomorphology and the humidity of the soil are them variable environmental that exert a greater pressure in the distribution potential.

**Key words:** Land use change, *Cordia dodecandra*, Potential distribution, Maximum entropy, and Distribution patterns.

## INTRODUCCIÓN

Se conoce poco acerca de la distribución geográfica de las plantas en México, algunos trabajos abordan aspectos generales de la distribución de conjuntos de taxa a nivel de tipos de vegetación, de sus afinidades geográficas o registran patrones de riqueza local y regional a partir de estudios florísticos, pero muy poco se ha hecho para documentar el área total que ocupa una sola especie (Skov, 2000).

Es por ello que conocer y entender la distribución de especies en un área determinada es de gran interés no sólo desde un punto de vista de manejo de recursos, sino desde un contexto de conservación biológica (Peterson *et al.*, 2011).

El área de distribución de una especie es el conjunto de lugares del espacio geográfico en los que puede detectarse su presencia (Soberón, 2007) y refleja la ecología e historia evolutiva de la misma. Cuando se habla de distribución de las especies deben distinguirse dos categorías diferentes: la real (también llamada presencia) y la potencial. La distribución real se refiere a los sitios en los que se han observado o colectado individuos y la potencial hace alusión a las áreas que tienen condiciones ambientales muy similares a los sitios donde se encuentran las especies y que tienen muy altas probabilidades de estar ocupadas por estas mismas (Gámez, 2011).

Dadas las limitaciones para inventariar la biodiversidad en áreas de gran extensión y la escasez de información sobre la presencia de muchas especies, es necesario predecir la presencia de dichas especies en áreas de interés a partir de modelos matemáticos (Phillips *et al.*, 2006; Stockwell y Peters, 2009). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el desarrollo de técnicas estadísticas aplicadas ha permitido en los últimos años la expansión de herramientas para el análisis de los patrones espaciales de presencia y/o ausencia de especies: los Modelos de Distribución de Especies (MDE). (Swenson, 2008).

Los MDE, extrapolan datos de la distribución de las especies en el espacio y el tiempo, generalmente con base en modelos estadísticos. El propósito de los MDE y, en particular, de los mapas predictivos resultantes, es proporcionar información espacialmente explícita, es decir asociada a una ubicación en el espacio geográfico, sobre las especies y otros elementos de la biodiversidad para muy diversas

aplicaciones, tales como el desarrollo de planes de conservación, evaluación de riesgos y gestión de recursos (Franklin, 2009).

Existen varios programas para modelar la distribución de las especies, entre los cuales esta MaxEnt, cuyo propósito es estimar distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información ambiental (Phillips *et al.*, 2006).

Dentro de las diversas aplicaciones de MaxEnt que se pueden citar se encuentran: (i) la priorización de zona para iniciativas de conservación biológica y restauración ecológica, (ii) modelaciones de efectos del cambio climático sobre los ecosistemas, y (iii) la evaluación de patrones de propagación de especies invasivas. Los buenos resultados de este programa y su facilidad de uso, lo han extendido por la comunidad científica, ha sido ampliamente utilizado en el modelado de la distribución de las especies con diversos objetivos (Elith *et al.*, 2011).

En la Península de Yucatán el siricote es considerado una especie de importancia económica y cultural por sus múltiples usos (Pennington y Sarukhán, 2005). Debido a la sobreexplotación y a la transformación de su hábitat las poblaciones silvestres han disminuido considerablemente; esto junto con la poca información acerca de su distribución geográfica en la Península de Yucatán, llevó a que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2007), definiera al siricote como una especie prioritaria, teniendo como objetivo a corto plazo la identificación, conservación y manejo de su germoplasma.

Es por ello que es importante realizar estudios para evaluar la distribución geográfica potencial del siricote, conocer las principales variables ambientales que determinan su distribución, así como conocer el área geográfica potencial, en base a la cartografía de usos de suelo para la península.

## OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son: (i) Evaluar la distribución conocida del siricote en la Península de Yucatán, para identificar áreas de distribución potencial; (ii) Estimar la superficie (hectáreas) que ocupa las zonas óptimas de distribución potencial *C. dodecandra* en comparación con el cambio de uso de suelo actual en la Península de Yucatán; y (iii) Analizar la importancia relativa de las variables ambientales en la conformación de la distribución potencial de *C. dodecandra*, usando como aproximación el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este trabajo se realizó en la Península de Yucatán (México), que incluye a los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. La península, es catalogada como una gran extensión eocénica constituida casi totalmente de calizas de topografía kárstica (Bautista *et al.*, 2005). El clima es tropical cálido, subhúmedo con lluvias en verano, presentándose un aumento de la precipitación pluvial y una disminución de la temperatura del noreste hacia el suroeste. En la península se reconocen diferentes tipos de selvas tropicales, selva mediana subperennifolia (SMSP), selva mediana subcaducifolia (SMSC), selva alta perennifolia (SAP), selva alta subperennifolia (SASP), la selva baja caducifolia (SBC) y selva baja inundable (SBI), cuyos patrones de distribución están determinados por la precipitación pluvial y el tipo de suelo (Flores *et al.*, 2010).

## **Procedencia de los datos biológicos**

Se utilizaron todos los datos de presencias disponibles de esta especie y que se encontraban georreferenciados. Para lo cual se recopiló información del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), y de los herbarios asociados a esta base; así como las bases de datos electrónicas en línea y estudios científicos (Vester y Navarro, 2007). Como criterios para depurar las bases de datos se procedió a la eliminación de los registros de presencia repetidos, información incompleta, mal o dudosamente georreferenciados, y/o sin la correspondencia de la georreferencia; así como la eliminación de los registros que se encuentran en las áreas urbanas y rurales. Se realizó trabajo de campo con la finalidad de localizar poblaciones silvestres de siricote; los ejemplares registrados se georreferenciaron por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS), además se describió la vegetación asociada mediante la observación e identificación directa. Las especies no identificadas en campo se recolectaron e identificaron en el herbario Alfredo Barrera Marín de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).

## **VARIABLES AMBIENTALES**

Se obtuvieron tres diferentes tipos de variables como factores predictivos que intervienen en la distribución potencial de las plantas vasculares. Cada variable pertenece a uno de los siguientes tipos de datos ambientales: (i) datos geográficos, (ii) datos climáticos y (iii) datos geológicos. Estos conjuntos de variables explicativas ya se han utilizado con éxito para comparar los patrones de riqueza y diversidad tanto en la flora como en la fauna (Hawkins y Pausas, 2004). Para editar y proyectar los datos

ambientales se utilizaron las herramientas de geo-procesamiento de ArcMap. (ESRI, 2010).

Se utilizó las variables bioclimáticas (temperatura y precipitación pluvial), derivados de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>), que resumen las condiciones climáticas de la península para modelar la distribución potencial del siricote. Para generar el modelo de distribución conocida, se consideró el hábitat natural remanente dentro de la proyección de la distribución, con base en la Serie III del INEGI ([www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)); es decir, las áreas que solamente contengan algún tipo de uso de suelo dentro de la distribución conocida se considera como la distribución de cambio de uso de suelo del siricote. Este modelo de distribución supone que los hábitat transformados en agro-sistemas y asentamientos humanos, son inadecuados para la presencia a largo plazo de la especie (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005).

Los diferentes tipos de suelo presentes en el territorio se obtuvieron del mapa hidrogeológico de la CONAGUA y del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), y la capa de información geomorfológica, se obtuvieron de los laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Autónoma de Yucatán y el Centro de Investigación Científica de Yucatán, CICY.

Para evitar problemas de auto-correlación entre las capas de información climática y geográfica se realizó un proceso de selección de variables mediante una matriz de correlación con la opción Grid Analyst de ArcMap (ESRI, 2010). Con este proceso se redujo la multicolinealidad entre las variables, reduciéndose la información redundante proporcionada a los algoritmos (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007).

## **Análisis de modelación**

Se utilizó el modelo de máxima entropía versión 3.3.3k (disponible en línea: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/MaxEnt/>) (Kalkvik *et al.*, 2012). Este programa necesita algoritmos de presencia, el cual requiere puntos conocidos de presencia de especies, así como las variables ambientales.

El 25% de los registros se utilizaron como datos de entrenamiento (training data) y el otro 75% como datos de validación (validation data), se mantuvieron los parámetros establecidos del programa sugeridos por Phillips *et al.*, (2006): umbral de convergencia 10, iteraciones máximas 500, valor de  $\beta$  de regularización= auto, porcentaje de prueba aleatorio de 0, un múltiplo de regularización de 1 y un número máximo de puntos background de 10000.

Se obtuvieron un total de 393 puntos de presencia para el siricote en México, Guatemala y Belice; de los cuales 275 se localizaron en la Península de Yucatán (135 Yucatán, 73 Quintana Roo y 67 Campeche). Tras la depuración de la base de datos resultó un total de 160 puntos de presencia, de los cuales 79 puntos están en Yucatán, 45 en Campeche y 36 en Quintana Roo (Anexo 2). (Fig. 1). Además, se realizaron seis salidas de campo en el Estado de Yucatán, en áreas idóneas de presencia de la especie y en las cuales la vegetación estuviera conservada. Los municipios seleccionados fueron: Tizimín, Tzucacab y Muna en donde se registraron un total de 75 individuos adultos de siricote.

Las variables ambientales obtenidas para la modelación fueron 30; de las cuales tras la evaluación de autocorrelación quedaron 15 variables para la modelación de la distribución potencial del siricote mediante el programa MaxEnt. (Anexo 1).

Las 15 variables ambientales (capas) fueron procesadas en formato ASCII (raster) con una resolución espacial de 70 x 70 m por pixel, se proyectaron en coordenadas UTM-Zona 16-N, Datum ITRF 1992 con ayuda del programa ArcMap10 (ESRI, 2010); para que de esta manera pudieran ser ingresadas al programa MaxEnt.

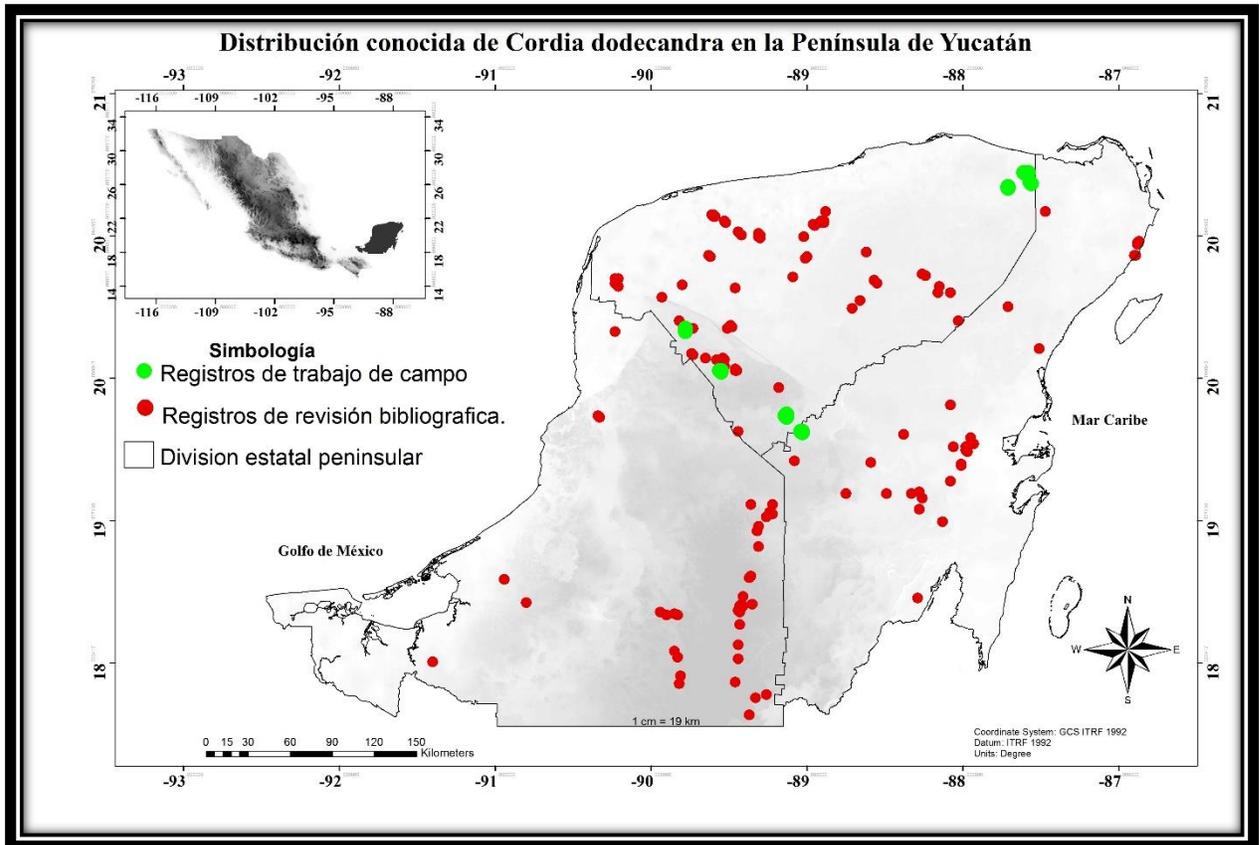


Figura 1. Puntos de presencia de *Cordia dodecandra* en la Península de Yucatán de acuerdo a los registros de herbario y trabajo de campo. Elaboración propia.

## RESULTADOS

### Cobertura ocupada

Los resultados analizados de la cobertura (ha) de la distribución del siricote (Tabla 1), muestran la degradación o pérdida del habitat potencial del siricote, ocasionada por el cambio de uso de suelo.

Tabla 1. Probabilidad de área ocupada por el siricote en hectáreas bajo los modelos de distribución conocida (uso de suelo) y potencial en la Península de Yucatán.

Valor	Distribución potencial con cambio de uso de suelo)		Distribución potencial		Diferencia
	Hectáreas	% de superficie ocupado	Hectáreas	% de superficie ocupado	
<b>1</b>	2'969,109	22	2'588,499	19	380,610
<b>2</b>	2'199,849	16	1'870,134	14	329,715
<b>3</b>	1'819,936	14	1'675,474	13	144,463
<b>4</b>	1'809,464	14	1'629,807	12	179,657
<b>5</b>	1'903,476	14	1'678,724	13	224,752
<b>6</b>	1'022,019	8	1'413,155	11	-391,135
<b>7</b>	818,477	6	1'062,850	8	-244,373
<b>8</b>	566,917	4	965,236	7	-398,318
<b>9</b>	260,830	2	485,629	4	-224,800
<b>Total</b>	13'370,078	100	13'369,508	100	

Se modeló un total de 13'370,078 ha, de la península yucateca, tanto para la distribución con cambio de uso de suelo y potencial. Los resultados muestran los valores más altos de probabilidad de distribución de la especie es superior a un 7% en comparación con la de cambio de usos de suelo. El 19% del territorio de la península

obtuvo una probabilidad de valores de entre 7 a 9 en el modelo de la distribución potencial, en comparación con la vegetación conocida (uso de suelo) que es de 12%

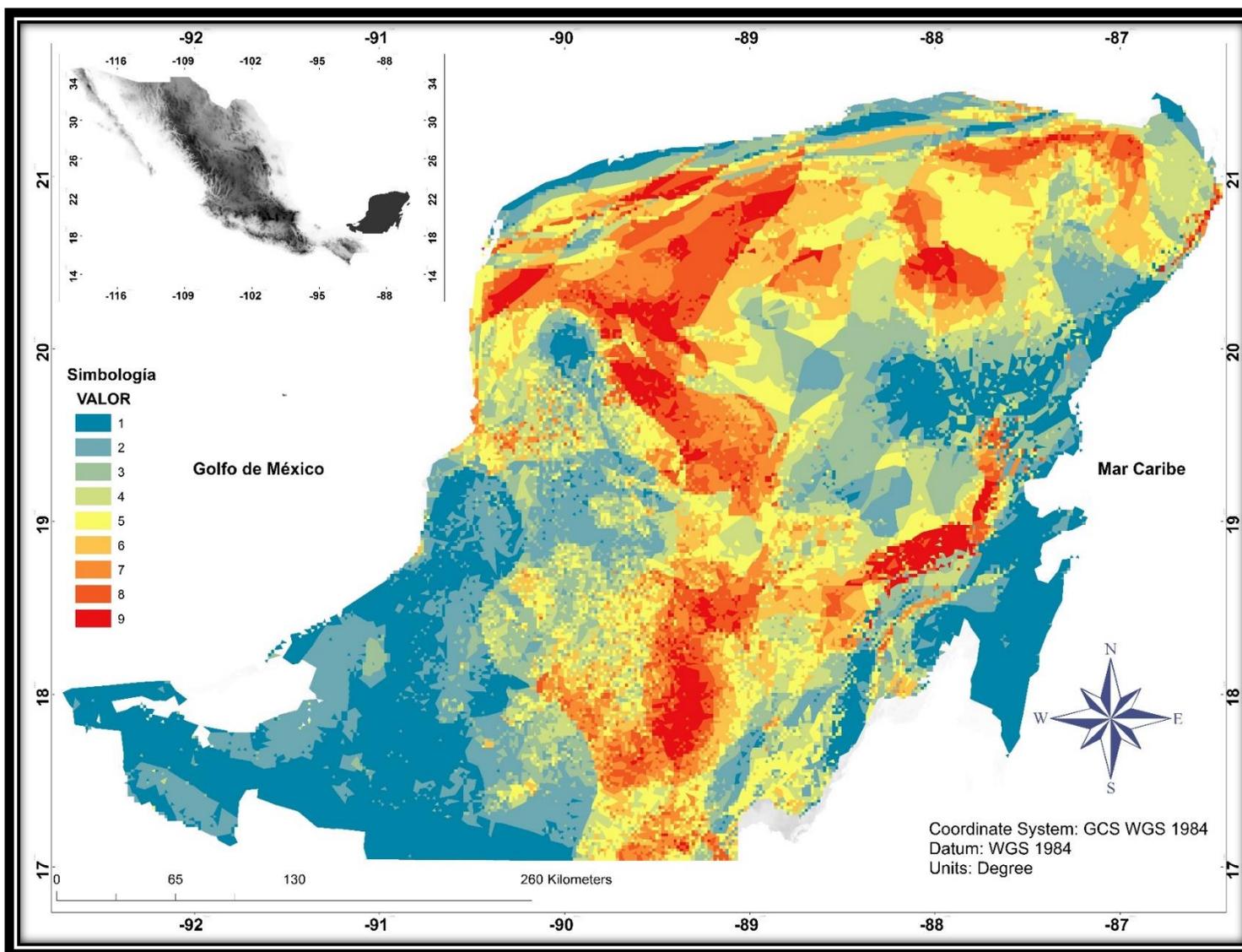
Tabla 2. Nivel de distribución del área ocupada por el siricote

Nivel	Distribución conocida	% ocupado	Distribución potencial (ha)	% ocupado	Diferencia (ha)	% Diferencia
Poca (1 a 3)	6'988,895	52	6'134,107	46	854,788	6.4
Media (4 a 6)	4'734,959	35	4'721,686	35	13,273	.1
Alta (7 a 9)	1'646,224	12	2'513,715	19	-867,491	-6.5

El área probable de presencia disminuye un 6.5% de su distribución, lo que representa una pérdida de 867,490.5 hectáreas. Se puede observar como la distribución conocida con poca probabilidad de presencia es mayor que la potencial por 854,7878 ha; al igual que la media con 13,273 ha. (Tabla 2).

#### **Hábitat potencial de *Cordia dodecandra* bajo condiciones conocida (uso de suelo) potenciales**

El modelo de distribución potencial generado por MaxEnt (Fig. 2), indica las zonas geográficas en donde está o podría estar presente el siricote. Valores de 1 a 3 son áreas con nula probabilidades de presencia y representan el 45.9% de la superficie de la península; valores de 4 a 6 son áreas en donde la especie puede estar presente, siempre y cuando las condiciones ambientales sean las propicias, representan el 35%, los valores que van del 7 a 9, los cuales ocupan el 18% de superficie, son las áreas que proporcionan el hábitat óptimo para el establecimiento del siricote.



Figuras 2. Mapa de distribución potencial de *Cordia dodecandra* en la Península de Yucatán obtenido de MaxEnt.

Elaboración propia.

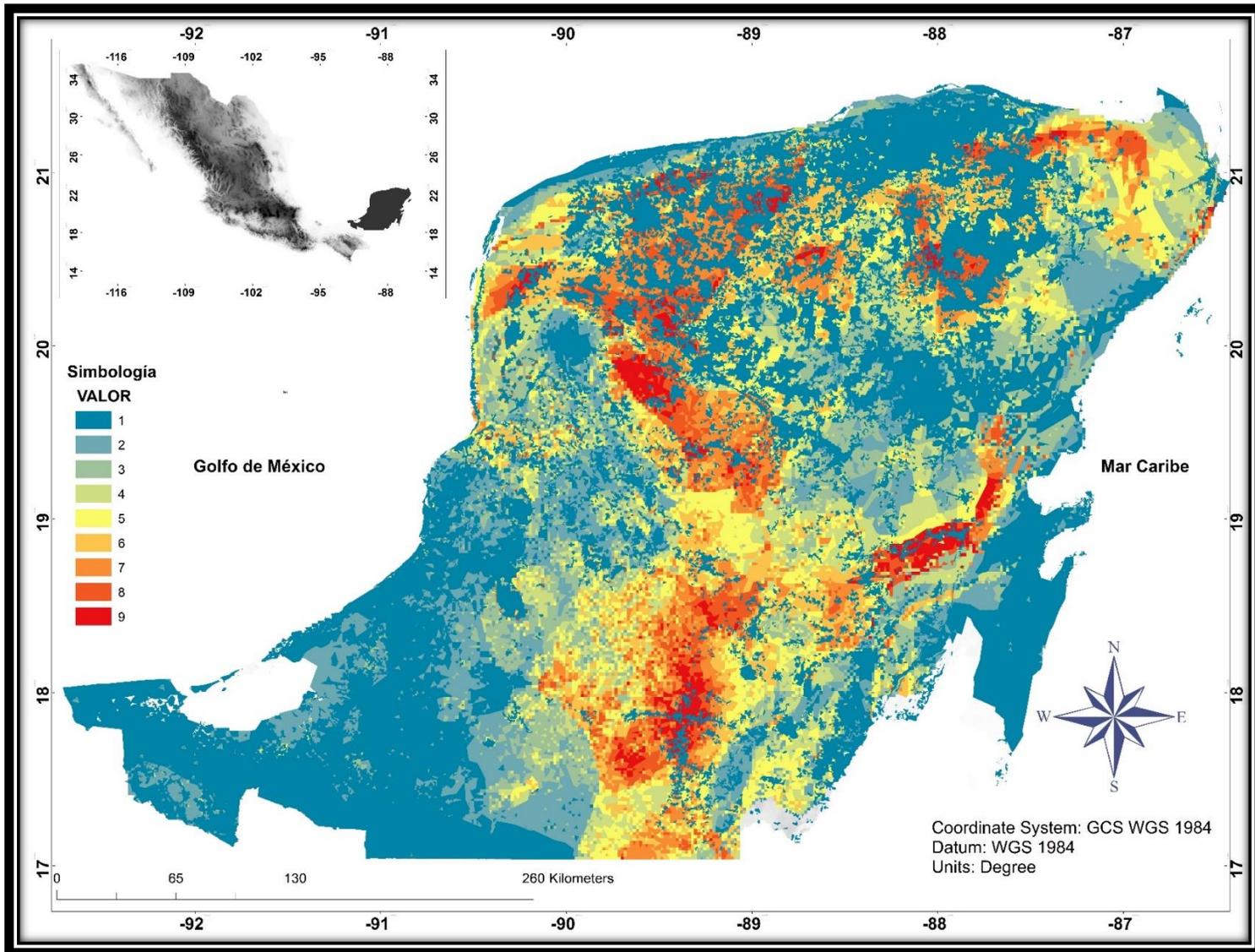


Figura 3. Mapa de la distribución potencial bajo condiciones de cambio de uso de suelo de *Cordia dodecandra* en la Península de Yucatán obtenido de MaxEnt. Elaboración propia

En la figura 3, se puede observar como las actividades hechas por el hombre han causado la disminución del área potencial del siricote, en especial en la zona norte de la península, y como se ha deteriorado el corredor que va desde el sur Calakmul hasta el norte de Mérida. En el mapa de distribución potencial se puede apreciar como todavía hay conectividad entre las zona de Calakmul hacia Felipe Carrillo Puerto.

### Análisis de las variables

La curva operacional (Fig. 4) indica que el modelo de MaxEnt tiene un alta capacidad de predecir el comportamiento de los datos de la distribución potencial con base en el valor del área bajo la curva (AUC= 0.87) por lo que sugiere una buena capacidad predictiva del modelo.

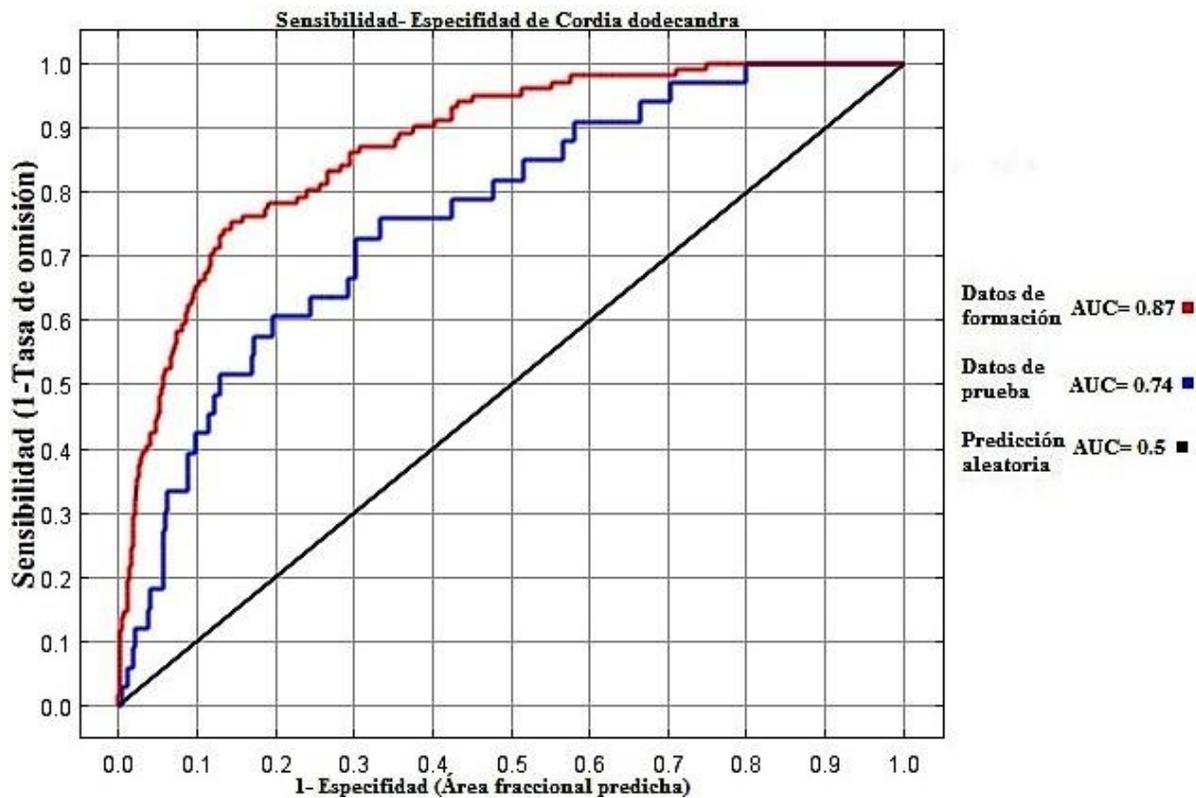


Figura 4. Variograma de la sensibilidad vs especificidad de *Cordia dodecandra*.

La línea roja (entrenamiento) muestra el “ajuste” del modelo a los datos de entrenamiento y es la auténtica prueba de la capacidad que tienen los modelos de estimar. La línea azul (prueba) indica el grado de ajuste del modelo a los datos y la línea negra muestra lo que podría esperarse si el modelo no fuese mejor que el azar.

De acuerdo con la prueba de Jackknife (Fig. 5) las principales variables ambientales para explicar la distribución potencial del siricote fueron: la precipitación del mes más húmedo, el clima, la precipitación anual, la precipitación del trimestre más húmedo, la geomorfología y la humedad del suelo. Estas variables tuvieron los valores de permutación de importancia más significativos, lo que significa que tienen una fuerte influencia en el establecimiento de esta especie.

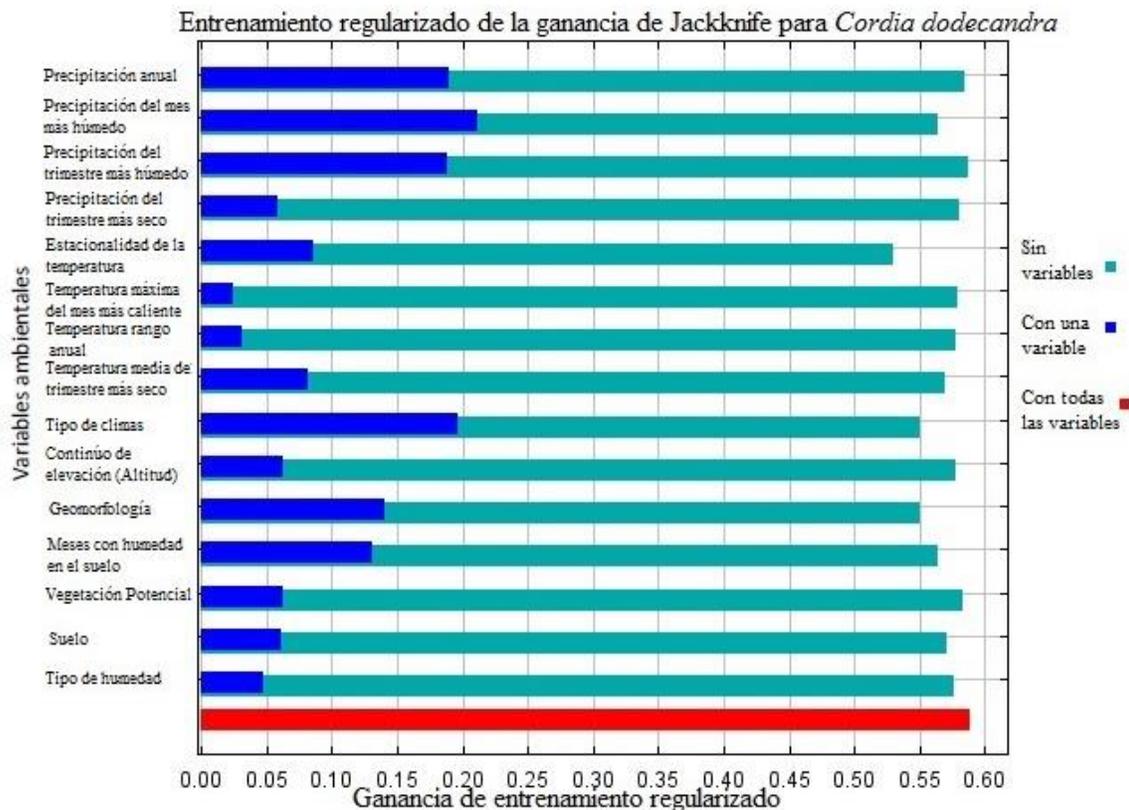


Figura 5. Principales variables ambientales que influyen en la distribución potencial de *Cordia dodecandra*

## DISCUSIÓN

El siricote es una especie que se distribuye principalmente en la selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia y subperennifolia, en la zona norte y centro de la Península de Yucatán. Además de considerar las variables ambientales, es importante tener en cuenta otras características, como las fisiológicas y fenológicas, para poder evaluar las respuestas de una especie ante el escenario del modelo de distribución de especies (Moritz y Agudo, 2013). En la distribución del siricote se puede observar una relación simpátrica con una especie estrechamente relacionada *Cordia sebestena*. Aunque ambas especies viven en la misma área geográfica sus zonas de distribución no se superponen como lo sugiere la teoría del nicho ecológico propuesta por Hutchinson, 1957, puesto que *C. dodecandra* tiene una distribución continental y *C. sebestena* está presente en la costa yucateca.

Las variables utilizadas en la modelación (climáticas, geográficas y geológicas), son importantes para el buen crecimiento y desarrollo de una planta (Jaramillo-Robledo, 2005), en particular los parámetros climáticos como son: la precipitación del mes más húmedo, la precipitación anual total y el trimestre más húmedo resultan factores que intervienen en el establecimiento de nuevas zonas de distribución, como lo sugiere también Yam-Chin *et al.*, (2014).

Los resultados indican que la variable ambiental del clima es la que ejerce una mayor presión en cuanto al establecimiento de la especie. Los dos tipos de clima con mayor probabilidad de encontrar el siricote son: (i) **Aw1 (x<sup>i</sup>)**, caracterizado por ser: cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío mayor a 18 °C, con una precipitación del mes más seco menor de 60 mm, lluvias de

verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual; (ii) **Awo**, caracterizado por: precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm, lluvias de verano con índice precipitación/temperatura menor de 43.2 y un porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Estos tipos de climas secos y tropicales de la Península de Yucatán, facilitan el establecimiento del siricote, ya que al ser una especie heliófita requiere de más luz Yam-Chin *et al.*, (2014).

El tipo de suelo como muestran los resultados es una variable importante para el establecimiento del siricote, el cual se encuentran principalmente en los tipos: Leptosol, Regozol y Vertisol, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Janick y Paull (2006). De acuerdo a Janick y Paull (2006), el siricote se puede establecer en suelos con un pH relativamente alto (7,6-7,8), con presencia de carbonatos, en áreas con más de 500 mm de precipitación anual y es capaz de vegetar en forma silvestre desde el nivel del mar hasta los 900 m.

Las diferencias entre el mapa de distribución potencial y de uso de suelo, ponen claramente de manifiesto el daño ocasionado por la actividad humana, en concreto el cambio de uso de suelo. La zona norte de la Península de Yucatán, tal y como lo exponen, Céspedes y Sánchez (2010), es el área con la mayor tasa de pérdida de vegetación potencial, debido al gran proceso de deforestación que se ha producido en la zona.

La distribución conocida del siricote es muy similar a la potencial, ya que, esta se genera con base a la potencial, solo agregando la capa de vegetación y cambio de uso de suelo actual. Esta distribución va del sur de la península, atravesando la reserva de

la biosfera de Calakmul hasta la parte centro del Estado de Yucatán, en ella se aprecia la fragmentación de la vegetación y como las poblaciones están perdiendo la conectividad. Debido a que en el área de la biosfera de Calakmul, la presencia de registros es más abundantes, aunado a que es una de las regiones mejor conservadas de la península de Yucatan, la distribución potencial en esta zona es muy importante.

La depuración de la base de datos fue una parte importante en el análisis del modelado; se redujo el 42% de los datos de presencia para evitar sesgos en los datos debido a valores que pudieran ocasionar errores, como pueden ser puntos de fácil acceso, a lo largo de carreteras y cerca de ciudades, estaciones biológicas o dentro de los solares de las comunidades. En algunos casos, hay un sesgo espacial en los datos que puede hacer que los valores no sean representativos de las condiciones ambientales o no se encuentren en condiciones naturales (Graham *et al.*, 2004).

En este trabajo el modelo obtenido mediante MaxEnt mostró una alta precisión, debido a la confiabilidad de las variables empleadas (topoedáficas) y al número de puntos registros (235). Se considera que cuanto mayor es el número de registros mejor será el desempeño del modelo (Guisan *et al.*, 2006). Los Valores de AUC entre 0.7 y 0.9 indican modelos con alta precisión, no obstante, debe tenerse en cuenta que este valor estadístico depende no solo del número de presencia sino también del tamaño total del área de estudio (Pliscoff y Fuentes, 2011). El valor obtenido por el modelo en nuestro estudio fue de  $AUC=0.87$ , lo que indica una alta precisión.

Otros estudios han aplicado con éxito el programa MaxEnt; p.ej. Zizka *et al.*, (2009) utilizaron MaxEnt para determinar áreas de distribución y centros de diversidad de

monocotiledóneas, pertenecientes a la familia de las bromeliáceas; Sobek-Swant *et al.*, (2012) lo utilizó para desarrollar mapas de riesgo de plagas, *Agrilus planipennis*, con el fin de ayudar en la asignación de recursos para detección y tratamiento de las zonas más propensas a ser afectadas; mientras que (González *et al.*, 2010) lo utilizó para determinar la distribución de enfermedades tropicales como la *leishmaniasis*, frente a potenciales cambios en el clima.

La actividad humana ha tenido efectos contrarios en la distribución de especies, por ejemplo, ha favorecido a *Bourreria pulchra* ampliando su rango de distribución, por su alta capacidad de adaptación a la perturbación, mientras que a *Cordia dodecandra*, por el contrario corre un peligro inminente de desaparecer, en su distribución natural (Campos, 2010b). Montañez-Escalante *et al.*, (2012) señalan que los huertos familiares son un refugio para esta especie, ya que su cultivo fue muy importante en los solares en épocas pasadas, sin embargo también están desaparecido en las zonas urbanas, pues en el actual modelo de vivienda no se dejan espacios adecuados para sembrar estos árboles.

El grado de tolerancia de las especies a los factores ambientales es uno de los criterios más importantes a considerar en las actividades relacionadas con la recuperación de la selva, en los procesos de reforestación y en el enriquecimiento de la vegetación nativa (Rao *et al.*, 2008). Debido a que el siricote es una especie que en sus etapas de crecimiento requiere la presencia de mucha luz y es tolerante a diversos factores ambientales (Montero, 2009), puede utilizarse en programas de enriquecimiento de la vegetación avanzada y en la reforestación y restauración de áreas con sucesión temprana. La parte centro y norte del estado de Yucatán que comprende las áreas

donde se produce más cambio de uso de suelo, son áreas idóneas para una reforestación, ya que la modelación de la distribución potencial sugiere una alta probabilidad de ocupación.

## CONCLUSIONES

Las áreas de distribución potencial con mayor probabilidad de presencia de siricote (*Cordia dodecandra*) en la Península de Yucatán son: la Reserva de la Biosfera de Calakmul, la parte sur y centro del estado de Yucatán y la zona centro del municipio de Felipe Carrillo Puerto (Quintana Roo) al este de la península.

Las diferencias entre los dos modelos de distribución indican que una de las presiones antropogénicas más importantes es el cambio de uso de suelo, ya que al superponer las dos capas ambientales de vegetación se observa una reducción en las áreas óptimas de ocupación de siricote.

El porcentaje de área en la distribución potencial del siricote es un 6.5% mayor que la distribución conocida

Las variables ambientales más importantes que determinan la distribución potencial del siricote son: la precipitación del mes más húmedo, el clima, la precipitación anual total, el trimestre más húmedo, la geomorfología, y la humedad del suelo.

*Cordia dodecandra* es una buena opción para las campañas de reforestación en zonas de vegetación temprana y en acahuales.

## RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al CONACYT por el financiamiento otorgado para el proyecto “Efecto de la domesticación en la diversidad biológica e interacción planta-suelo de árboles nativos de la Península de Yucatán. Clave: CB2014-236428”, así mismo por el otorgarme la beca para realizar el estudio de posgrado, sin ello no hubiera sido posible.

## REFERENCIAS

- Bautista, F., Palacio, G., Ortiz-Pérez, M., Batllori-Sampedro, E. y M. Castillo-González. 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán. *In*: Bautista, F. y G. Palacio, eds. Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. UACAM-UADY-INE. México, D.F. p:21-32.
- Benito de Pando, B. y J. Peñas de Giles. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *Geo Focus* 7: 100-119.
- Montañez-Escalante, P.I., M.R. Ruenes-Morales, J.J. Jiménez-Osornio, P. Chimal-Chan, L. López Burgos. 2012. Los Huertos Familiares o Solares en Yucatán. . En: Mariaca M.R (Editor). EL Huerto Familiar en el Sureste de México. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco, ECOSUR, México. 1331-147

- Céspedes, F. y E. Sánchez. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental 2* (2): 5-13.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. CIRICOTE (*Cordia dodecandra* A.DC.). Protocolo para su Colecta, Beneficio y Almacenaje. Departamento de conservación y restauración de ecosistemas forestales programa de germoplasma forestal estado de Yucatán. Comisión nacional forestal. Mérida, Yucatán. 21p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 2010. ArcGis Professional Gis for desktop, ArcMap version 10.0. Redlands, California.
- Flores, J.S., Durán, G.R. y D.J. Ortiz. 2010. Comunidades vegetales terrestres. *In*: Durán, R. y M. Méndez, eds. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. Yucatán, México. p:125-129.
- Franklin, J. 2009. Mapping Species Distribution: Spatial inference and prediction. 1<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, U.K. 320 p.
- Gámez, P. 2011. Guía para la elaboración de mapas de distribución potencial. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Boletín Técnico. 38 p.
- González, C., Wang, O., Strutz, S.E., González-Salazar, C., Sánchez- Cordero, V. y S. Sarkar. 2010. Climate change and risk of leishmaniasis in North America:

- predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS Negl Trop Dis* 4(1): e585.
- Graham, C., Ferrier, S., Huettman, F., Moritz, C y A. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution* 19(9): 497-503
- Guisan A., Broennimann, O., Engler, R., Vust, M., Yoccoz, N., Lehmann, A y N. Zimmermann. 2006. Using niche-based models to improve the sampling of rare species. *Conservation Biology* 20(2): 501-511.
- Hawkins, B., y Pausas, J.G. 2004. Does plant richness influence animal richness? The mammals of Catalonia (NE Spain). *Diversity and Distributions* 10(4): 247-252.
- Hutchinson, G. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
- Janick, J y R. Paull. 2006. The Encyclopedia of Fruit & Nuts. 1ª ed. Cambridge University Press, U.K. 160 p.
- Kalkvik, H., Stout I., Doonan, T y C. Parkinson. 2012. Investigating niche and lineage diversification in widely distributed taxa: phylogeography and ecological niche modeling of the *Peromyscus maniculatus* species group. *Ecography* 35 (1):54-64.
- Montero, F. M. 2009. Crecimiento inicial de especies arbóreas multipropósito en un terreno ganadero del norte de Veracruz. Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados. Montecillo-Texcoco. 61 p.

- Moritz, C y R. Agudo. 2013. The future of species under climate change: Resilience or decline? *Science* 341(6145): 504-508
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México, manual para la identificación de las principales especies. 3ª ed. Universidad Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México. 523 p.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, G., Anderson, P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M y B. Araújo. 2011. Ecological niches and geographic distributions. 1ª ed. Princeton, University Press. 314 p.
- Phillips, S., Anderson R. y R. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190(34): 231-259.
- Pliscoff, P. y T. Fuentes-Castillo. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande* 48: 61-79.
- Rao, P. B., A. Kaur y A. Tewary. 2008. Drought resistance in seedlings of five important tree species in Tari region of Uttarakhand. *Tropical Ecology* 49:43-52.
- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, Sarkar S y A. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation* 126:465-473.
- Skov, F. 2000. Potential plant distribution mapping based on climatic similarity. *Taxon* 49(3): 503-515.

- Sobek-Swant, S., Kluza, D.A., Cuddington, K. y D. Lyons. 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.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niche and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10(12): 1115-1123.
- Stockwell, D. y D. Peters. 2009. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13(2): 143-158.
- Swenson, N. 2008. The past and future influence of geographic information systems on hybrid zone, Phylogeographic and speciation research. *Journal of Evolutionary Biology* 21(2): 421-434.
- Vester, F. M. y M. A. Navarro. 2007. Fichas ecológicas de árboles maderables de Quintana Roo. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT– Gobierno del Estado de Quintana Roo, México. 139 p.
- Yam-Chin, C., Montañez-Escalante, P y R. Ruenes-Morales. 2014. Crecimiento de plantas jóvenes de *Cordia dodecandra* (Boraginaceae) en tres etapas sucesionales de vegetación en Calotmul, Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 589-597.
- Zizka, G., Schmidt, M., Schulte, K., Novoa, P., Pinto, R. y K. König. 2009. Chilean Bromeliaceae: diversity, distribution and evaluation of conservation status. *Biodiversity and Conservation* 18(9): 2449-2471.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

El 18.8% de la Península de Yucatán reúne las condiciones ambientales necesarias para un óptimo establecimiento del siricote. Siendo la Reserva de la Biosfera de Calakmul, la parte sur y centro del estado de Yucatán y la zona centro del municipio de Felipe Carrillo Puerto (Quintana Roo) al este de la península las zonas con la más alta probabilidad de establecimiento.

Las variables ambientales que ejercen una mayor presión en la distribución potencial: La precipitación del mes más húmedo, el clima, la geomorfología y la humedad del suelo.

La presencia de las áreas de distribución potencial óptimas para el siricote proyectada por MaxEnt y su correspondencia con la distribución conocida es un indicador del grado de degradación ambiental de las selvas en la Península de Yucatán.

El modelo de distribución potencial del siricote generado por MaxEnt mostró tener un buen desempeño, sin embargo, los modelos son escenarios estáticos y una simplificación de la realidad, quedando abierta la posibilidad de que la realidad no se apegue por completo al modelo, ya que la presencia de una especie depende de su historia y de los factores que afectan a sus poblaciones además del tiempo y las condiciones del entorno.

*Cordia dodecandra* es una buena opción para las campañas de reforestación en zonas de vegetación temprana y en acahuales

## ANEXOS

Anexo 1. Variables ambientales utilizadas en el modelado.

<b>VARIABLES AMBIENTALES</b>		
<b>Datos climáticos</b>	<b>Datos geológicos</b>	<b>Datos geográficos</b>
Estacionalidad de la temperatura	Geomorfología	Tipos de climas
Temperatura máxima del mes más caliente	Suelo	Vegetación Potencial
Temperatura Rango anual	Continuo de elevación (Altitud)	Vegetación conocida
Temperatura media del trimestre más seco	Tipo de humedad	
Precipitación anual	Meses con humedad en el suelo	
Precipitación del mes más húmedo		
Precipitación del trimestre más húmedo		
Precipitación del trimestre más seco		

Anexo 2. Base de datos obtenidos de información bibliográfica de las localidades de registro del siricote en la Península de Yucatán.

<b>D</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>	<b>Municipio</b>	<b>Sigla-Colección</b>
1	-91.40	18.23	N/D	Campeche	Escárcega	CICY
2	-90.94	18.76	N/D	Campeche	Carmen	CICY
3	-90.80	18.61	N/D	Campeche	Escárcega	MEXU
4	-90.34	19.81	N/D	Campeche	Campeche	XAL
5	-90.33	19.80	N/D	Campeche	Campeche	XAL
6	-90.23	20.35	N/D	Campeche	Tenabo	CICY
7	-89.94	18.55	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
8	-89.90	18.53	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
9	-89.85	18.54	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
10	-89.85	18.30	150 m	Campeche	Calakmul	MEXU
11	-89.83	18.53	N/D	Campeche	Calakmul	UCAM
12	-89.83	18.26	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
13	-89.82	18.09	N/D	Campeche	Calakmul	UCAM
14	-89.81	18.14	240	Campeche	Champotón	TEX
15	-89.46	18.10	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU

16	-89.44	18.56	N/D	Campeche	Calakmul	XAL
17	-89.44	18.25	250	Campeche	Calakmul	TEX
18	-89.44	18.34	250	Campeche	Calakmul	TEX
19	-89.43	18.55	N/D	Campeche	Hopelchén	XAL
20	-89.43	18.47	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
21	-89.43	18.59	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
22	-89.42	20.97	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
23	-89.42	18.60	N/D	Campeche	Hopelchén	CICY
24	-89.42	18.58	260 m	Campeche	Hopelchén	MO
25	-89.41	18.65	230 m	Campeche	Hopelchén	N/D
26	-89.41	18.59	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
27	-89.37	18.77	250	Campeche	Calakmul	TEX
28	-89.37	17.89	N/D	Campeche	Calakmul	CICY
29	-89.36	19.24	N/D	Campeche	Hopelchén	MEXU
30	-89.36	18.78	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
31	-89.35	18.60	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
32	-89.33	18.00	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
33	-89.32	19.07	N/D	Campeche	Hopelchén	MEXU
34	-89.31	19.10	N/D	Campeche	Hopelchén	MEXU
35	-89.31	18.97	N/D	Campeche	Hopelchén	MEXU
36	-89.26	19.16	N/D	Campeche	Calakmul	TEX
37	-89.26	18.02	162 m	Campeche	Calakmul	MO
38	-89.24	19.19	N/D	Campeche	Hopelchén	MEXU
39	-89.22	19.24	103 m	Campeche	Hopelchén	MO
40	-89.22	19.18	N/D	Campeche	Hopelchén	MO
41	-89.13	19.82	80 m	Campeche	Calakmul	MO
42	-89.08	19.52	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
43	-89.04	19.71	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
44	-89.03	19.70	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
45	-89.03	19.71	N/D	Campeche	Calakmul	MEXU
46	-89.14	19.81	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	MEXU
47	-89.13	19.80	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	MEXU
48	-89.13	19.81	80 m	Quintana Roo	Othón P. Blanco	MO
49	-88.75	19.31	N/D	Quintana Roo	José María Morelos	MEXU
50	-88.59	19.51	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	INIF
51	-88.49	19.31	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
52	-88.38	19.69	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
53	-88.33	19.31	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
54	-88.29	18.64	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	MEXU

55	-88.28	19.32	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
56	-88.28	19.21	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
57	-88.26	19.28	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
58	-88.13	19.13	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	INIF
59	-88.08	19.88	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	N/D
60	-88.08	19.39	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	CICY
61	-88.06	19.61	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	INIF
62	-88.01	19.49	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
63	-88.01	19.50	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
64	-87.98	19.61	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	ECO-CH-H
65	-87.98	19.59	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
66	-87.97	19.58	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
67	-87.96	19.62	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
68	-87.95	19.67	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
69	-87.94	19.63	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	MEXU
70	-87.93	19.63	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	MEXU
71	-87.86	18.31	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	XAL
72	-87.83	18.29	N/D	Quintana Roo	Othón P. Blanco	CICY
73	-87.71	20.51	N/D	Quintana Roo	Tulum	FCME
74	-87.56	21.30	N/D	Quintana Roo	Felipe Carillo Puerto	XAL
75	-87.51	20.24	N/D	Quintana Roo	Tulum	UADY
76	-87.47	21.12	N/D	Quintana Roo	Lázaro Cárdenas	CICY
77	-86.90	20.84	N/D	Quintana Roo	Benito Juárez	XAL
78	-86.90	20.84	N/D	Quintana Roo	Benito Juárez	MEXU
79	-86.88	20.91	N/D	Quintana Roo	Benito Juárez	MEXU
80	-86.88	20.92	N/D	Quintana Roo	Benito Juárez	MEXU
81	-86.87	20.93	N/D	Quintana Roo	Benito Juárez	MEXU
82	-90.23	20.66	N/D	Yucatán	Maxcanú	XAL
83	-90.23	20.69	N/D	Yucatán	Maxcanú	MEXU
84	-90.22	20.68	N/D	Yucatán	Maxcanú	XAL
85	-90.22	20.65	N/D	Yucatán	Maxcanú	XAL
86	-90.21	20.64	N/D	Yucatán	Maxcanú	MEXU
87	-90.21	20.69	N/D	Yucatán	Maxcanú	CICY
88	-89.93	20.57	N/D	Yucatán	Opichen	CICY
89	-89.82	20.42	N/D	Yucatán	Mani	XAL
90	-89.80	20.65	N/D	Yucatán	Chochola	MEXU
91	-89.78	20.35	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
92	-89.78	20.36	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
93	-89.78	20.27	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL

94	-89.78	20.38	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
95	-89.77	20.36	N/D	Yucatán	Santa Elena	CICY
96	-89.77	20.37	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
97	-89.74	20.21	N/D	Yucatán	Santa Elena	MEXU
98	-89.73	20.20	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
99	-89.73	20.37	N/D	Yucatán	Santa Elena	XAL
100	-89.65	20.18	20	Yucatán	Santa Elena	MEXU
101	-89.63	20.84	14	Yucatán	Mérida	XAL
102	-89.62	20.83	12	Yucatán	Mérida	XAL
103	-89.61	21.10	N/D	Yucatán	Mérida	CICY
104	-89.60	21.10	N/D	Yucatán	Mérida	MEXU
105	-89.60	21.09	N/D	Yucatán	Mérida	CICY
106	-89.59	21.09	7 m	Yucatán	Mérida	MO
107	-89.58	20.17	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	MEXU
108	-89.56	20.1	N/D	Yucatán	Kanasin	XAL
109	-89.55	20.09	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	CICY
110	-89.55	20.1	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	CICY
111	-89.55	20.08	35 m	Yucatán	Oxkutzcab	UADY
112	-89.54	20.18	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	N/D
113	-89.54	20.14	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	MEXU
114	-89.53	21.06	N/D	Yucatán	Conkal	CICY
115	-89.53	20.17	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	CHAP
116	-89.53	20.13	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	XAL
117	-89.52	21.05	N/D	Yucatán	Conkal	CICY
118	-89.51	20.37	N/D	Yucatán	Ticul	CICY
119	-89.49	20.39	N/D	Yucatán	Ticul	XAL
120	-89.48	20.38	N/D	Yucatán	Ticul	XAL
121	-89.46	20.10	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	CICY
122	-89.46	20.63	N/D	Yucatán	Tecoh	CICY
123	-89.46	20.11	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	XAL
124	-89.45	20.10	N/D	Yucatán	Oxkutzcab	XAL
125	-89.44	20.99	N/D	Yucatán	Tixpehual	UADY
126	-89.44	19.71	N/D	Yucatán	Tekax	CICY
127	-89.31	20.96	N/D	Yucatán	Tixkokob	XAL
128	-89.31	20.98	N/D	Yucatán	Tixkokob	XAL
129	-89.30	20.97	N/D	Yucatán	Tixkokob	CICY
130	-89.30	20.95	N/D	Yucatán	Tixkokob	XAL
131	-89.18	19.99	N/D	Yucatán	Tekax	MEXU
132	-89.09	20.70	N/D	Yucatán	Izamal	US

133	-89.02	20.96	N/D	Yucatán	Izamal	UADY
134	-89.01	20.82	N/D	Yucatán	Izamal	CICY
135	-89.00	20.83	N/D	Yucatán	Izamal	F
136	-88.96	21.04	N/D	Yucatán	Tekal de Venegas	MEXU
137	-88.95	21.03	N/D	Yucatán	Dzoncauich	XAL
138	-88.91	21.06	N/D	Yucatán	Dzoncauich	XAL
139	-88.90	21.05	N/D	Yucatán	Dzoncauich	XAL
140	-88.89	21.05	N/D	Yucatán	Dzoncauich	CICY
141	-88.89	21.06	N/D	Yucatán	Dzoncauich	XAL
142	-88.88	21.12	N/D	Yucatán	Dzoncauich	MEXU
143	-88.71	20.50	26 m	Yucatán	Cacalchén	MO
144	-88.66	20.55	N/D	Yucatán	Yaxcabá	CICY
145	-88.62	20.86	N/D	Yucatán	Quintana Roo	CICY
146	-88.57	20.68	N/D	Yucatán	Tinum	CICY
147	-88.55	20.66	N/D	Yucatán	Tinum	MEXU
148	-88.26	20.72	N/D	Yucatán	Valladolid	CICY
149	-88.24	20.71	N/D	Yucatán	Valladolid	UADY
150	-88.16	20.60	N/D	Yucatán	Valladolid	CICY
151	-88.15	20.64	22 m	Yucatán	Valladolid	MO
152	-88.08	20.60	N/D	Yucatán	Valladolid	CICY
153	-88.03	20.42	N/D	Yucatán	Valladolid	CICY
154	-87.71	21.27	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
155	-87.71	21.28	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
156	-87.61	21.37	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
157	-87.6	21.37	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
158	-87.59	21.37	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
159	-87.58	21.37	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL
160	-87.57	21.31	N/D	Yucatán	Yaxcabá	XAL

Anexo 2.1 Base de datos obtenidos de las salidas de campo de las localidades de registro del siricote en la Península de Yucatán.

ID	Longitud	Latitud	Altitud	Localidad	DAP	Altura	Cobertura	Vegetación
1	-89.13	19.82	76	Piste Akal	17	10	7X5	Selva mediana Subperennifolia
2	-89.13	19.82	77	Piste Akal	26.5	12	9X6	Selva mediana Subperennifolia
3	-89.13	19.82	80	Piste Akal	11	14	6X5	Selva mediana Subperennifolia
4	-89.13	19.82	80	Piste Akal	14	10	5X7	Selva mediana Subperennifolia
5	-89.13	19.82	79	Piste Akal	15.5	10	7X9	Selva mediana Subperennifolia
6	-89.13	19.82	80	Piste Akal	19.5	12.5	7X9	Selva mediana Subperennifolia
7	-89.13	19.82	80	Piste Akal	9.5	9	6X7	Selva mediana Subperennifolia
8	-89.13	19.82	85	Piste Akal	17.5+23	14	9X8	Selva mediana Subperennifolia
9	-89.13	19.82	80	Piste Akal	9.5	12	7X6	Selva mediana Subperennifolia
10	-89.13	19.81	98	Piste Akal	35	18	10X12	Selva mediana Subperennifolia
11	-89.13	19.81	101	Piste Akal	7	12	4X6	Selva mediana Subperennifolia
12	-89.13	19.81	91	Piste Akal	29	18	7X10	Selva mediana Subperennifolia
13	-89.13	19.81	95	Piste Akal	9.5	16	4X7	Selva mediana Subperennifolia
14	-89.04	19.71	72	Tigre Grande	18.5	15	6X5	Selva mediana Subperennifolia
15	-89.04	19.71	70	Tigre Grande	12	19	7X8	Selva mediana Subperennifolia
16	-89.04	19.71	57	Tigre Grande	19.5+15	17	8X9	Selva mediana Subperennifolia
17	-89.04	19.71	60	Tigre Grande	10.5	12	5X4	Selva mediana Subperennifolia
18	-89.04	19.71	60	Tigre Grande	15	12	5X4	Selva mediana Subperennifolia
19	-89.04	19.71	60	Tigre Grande	17+21	10	8X9	Selva mediana Subperennifolia
20	-89.04	19.71	60	Tigre Grande	29.5	16	8X9	Selva mediana Subperennifolia
21	-89.04	19.71	60	Tigre Grande	19	12	6X4	Selva mediana Subperennifolia
22	-89.04	19.71	64	Tigre Grande	14.5	12	6X7	Selva mediana Subperennifolia
23	-89.04	19.71	64	Tigre Grande	11+6.5	12	8X9	Selva mediana Subperennifolia
24	-89.04	19.71	55	Tigre Grande	20+13.5	14	10X12	Selva mediana Subperennifolia
25	-89.04	19.71	57	Tigre Grande	26	18	6X7	Selva mediana Subperennifolia

26	-89.04	19.71	58	Tigre Grande	23+18.5	18	12X10	Selva mediana Subperennifolia
27	-89.04	19.71	59	Tigre Grande	22.5+14.5	16	8X12	Selva mediana Subperennifolia
28	-89.04	19.71	59	Tigre Grande	4	8	4X5	Selva mediana Subperennifolia
29	-89.04	19.71	73	Tigre Grande	9	12	6X7	Selva mediana Subperennifolia
30	-89.03	19.70	60	Tigre Grande	11	9	8X9	Selva mediana Subperennifolia
31	-89.03	19.70	60	Tigre Grande	29.5	20	8X10	Selva mediana Subperennifolia
32	-89.03	19.71	57	Tigre Grande	20	19	8X10	Selva mediana Subperennifolia
33	-89.03	19.71	65	Tigre Grande	37	26	10X14	Selva mediana Subperennifolia
34	-89.04	19.71	63	Tigre Grande	16	10	6X5	Selva mediana Subperennifolia
35	-89.78	20.36	56	Uxmal/Sur	2	1.8	1x1	Selva Baja Caducifolia
36	-89.78	20.36	50	Uxmal/Sur	2	1	S/C	Selva Baja Caducifolia
37	-89.78	20.36	52	Uxmal/Sur	2	1	S/C	Selva Baja Caducifolia
38	-89.78	20.36	55	Uxmal/Sur	2	1	S/C	Selva Baja Caducifolia
39	-89.78	20.36	52	Uxmal/Sur	61 cm	9	5X6	Selva Baja Caducifolia
40	-89.78	20.36	48	Uxmal/Sur	15.5	6	2X1	Selva Baja Caducifolia
41	-89.78	20.36	51	Uxmal/Sur	38.5	6	2X2	Selva Baja Caducifolia
42	-89.78	20.36	46	Uxmal/Sur	15.5	7	3X2	Selva Baja Caducifolia
43	-89.78	20.37	50	Uxmal/Sur	12	10	4X5	Selva Baja Caducifolia
44	-89.78	20.36	47	Uxmal/Sur	39.5	10	6X5	Selva Baja Caducifolia
45	-89.78	20.36	49	Uxmal/Sur	50.5	12	6x6	Selva Baja Caducifolia
46	-89.78	20.36	55	Uxmal/Sur	12	4	1X.8	Selva Baja Caducifolia
47	-89.78	20.35	59	Uxmal/Norte	14	3	S/C	Selva mediana Subperennifolia
48	-89.78	20.35	60	Uxmal/Norte	27	9	3X4	Selva mediana Subperennifolia
49	-89.78	20.35	60	Uxmal/Norte	29	8	4X3	Selva mediana Subperennifolia
50	-89.78	20.35	61	Uxmal/Norte	27.5	8	3X2	Selva mediana Subperennifolia
51	-89.78	20.35	60	Uxmal/Norte	26.5	7	2X3	Selva mediana Subperennifolia
52	-89.78	20.35	62	Uxmal/Norte	17.5	4	2X1	Selva mediana Subperennifolia
53	-89.78	20.35	64	Uxmal/Norte	43.5	9	3x4	Selva mediana Subperennifolia

54	-89.14	19.81	117	N/D	18	12	4X3	Selva Mediana Subcaducifolia
55	-89.13	19.80	101	N/D	12.3	10	2X3	Selva Mediana Subcaducifolia
56	-89.13	19.80	102	N/D	11.3	9	2X3	Selva Mediana Subcaducifolia
57	-89.13	19.82	70	N/D	10.5	9	3X4	Selva Mediana Subcaducifolia
58	-89.56	20.10	100	R. Kaxil Kiuic	7	6	4.5X3	Selva Mediana Subcaducifolia
59	-89.55	20.10	93	R. Kaxil Kiuic	11-15-18	15	9.5X8	Selva Mediana Subcaducifolia
60	-89.55	20.09	102	R. Kaxil Kiuic	16	12	3.5x6	Selva Mediana Subcaducifolia
61	-89.55	20.09	94	R. Kaxil Kiuic	39	15	8X15	Selva Mediana Subcaducifolia
62	-89.55	20.09	98	R. Kaxil Kiuic	52	20	10X11	Selva Mediana Subcaducifolia
63	-87.61	21.37	8	R. Zapotal	11.5	12	3x2	Selva Mediana Subcaducifolia
64	-87.61	21.37	8	R. Zapotal	3.5	6	2x1	Selva Mediana Subcaducifolia
65	-87.60	21.37		R. Zapotal	8	12	2X1	Selva Mediana Subcaducifolia
66	-87.58	21.37	17	R. Zapotal	19.5	20	7X8	Selva Mediana Subcaducifolia
67	-87.59	21.37	12	R. Zapotal	8	11	3X4	Selva Mediana Subcaducifolia
68	-87.58	21.37	6	R. Zapotal	5.5	10	2X3	Selva Mediana Subcaducifolia
69	-87.59	21.37	15	R. Zapotal	2.5	6	1X1.5	Selva Mediana Subcaducifolia
70	-87.59	21.37	12	R. Zapotal	2.8	5.5	1X1	Selva Mediana Subcaducifolia
71	-87.71	21.27	25	Col. Yucatán	7	3.5	1x1.5	Selva Mediana Subcaducifolia
72	-87.71	21.28	25	Col. Yucatán	2	2.5	1x8	Selva Mediana Subcaducifolia
73	-87.71	21.27	23	Col. Yucatán	19.5	10	5x5.5	Selva Mediana Subcaducifolia
74	-87.56	21.30	23	Col. Yucatán	19.5	10	5x5.5	Selva Mediana Subcaducifolia
75	-87.57	21.31	20	Col. Yucatán	13-11-9.5	15	3x4	Selva Mediana Subcaducifolia