

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

USO DE MODELOS DE NICHO PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCIÓN POSIBLE  
DE ESPECIES PARA BIOENERGÍA EN ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CON ESPECIALIDAD EN: RECURSOS NATURALES TERRESTRES

PRESENTA:

ANA MARINA MARTÍNEZ ÁLVAREZ

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess


## FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Ana Marina Martínez Álvarez, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Recursos Naturales Terrestres.



---

Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas  
Director de Tesis



---

Ing. Jesús Sánchez Escalante  
Sinodal Secretario



---

Dr. Oswaldo Téllez Valdés  
Sinodal



---

Dra. María Cristina Peñalba Garmendia  
Suplente

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a todos mis seres queridos que me han apoyado ayer, hoy y me apoyarán siempre. Les doy las gracias a mi mamá **Cecy**, mi mamá **María**, mi papá **Enrique**, mi novio **Saúl**, mi hermanita **Ana Brissa** y toda mi **familia, profesores y amigos** que han dedicado parte de su tiempo en mí.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, por el apoyo académico y profesional durante mis estudios de licenciatura.

Al **Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas** por todo el apoyo para que se pudiera llevar a cabo este trabajo y por haberme aceptado desde un principio en el Laboratorio de Ecofisiología Vegetal del DICTUS.

Al **Dr. Oswaldo Téllez Valdés** por introducirme al tema de modelados de nicho, por habernos proporcionado las capas climáticas interpoladas para el estado de Sonora y México y por su disponibilidad para aceptar ser parte de mi comité de tesis.

Al Ing. **Jesús Sánchez Escalante** por todas las aportaciones realizadas al trabajo de tesis y por su disponibilidad para ser parte de mi comité.

A la **Dra. María Cristina Peñalba Garmendia**, por su apoyo al disponer tiempo en revisar el trabajo de tesis, por aportar, enriquecer al escrito y por su disponibilidad para ser parte de este comité de tesis.

Al **Dr. José M. Llano Sotelo** por todo el gran apoyo estos últimos años desde que inicié en el Laboratorio de Ecofisiología Vegetal y por permitirme aprender de él.

Al proyecto “Bioenergía, Biodiésel y Biodiversidad en Zonas Áridas” por la beca que me ha otorgado por la realización de este trabajo, a cargo del Dr. Alejandro E. Castellanos Villegas.

A todos mis profesores a lo largo de la carrera, que han despertado inquietudes y por introducirme al mundo científico.

A mis compañeros de laboratorio **César, Enrique, Arturo, Hernán, David** y los **Chxmos** por su compañía y amistad.

A mis Amigas de toda la carrera **Lu, Damarisse, Kary, Mel, Alina e Irene** por toda su amistad y por tantas alegrías juntas.

## CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
I. RESUMEN	xi
II. INTRODUCCIÓN	1
III. ANTECEDENTES	3
III.1. Crisis Energética Mundial	3
III. 2. Bioenergía y Biocombustibles	4
III.2.1. Biomasa	4
III.2.2. Bioetanol	5
III.2.3. Biodiesel	5
III.3. Estrategias Adaptativas de Especies Vegetales a Zonas con Algún Grado de Aridez	6
III.4. Utilización de Especies de Zonas Áridas para Bioenergía	10
III.5. Características y Uso de Bases de Datos Taxonómicas	11
III.6. Uso de Modelos de Nicho para la Distribución Potencial de Especies	12
IV. JUSTIFICACIÓN	14
V. HIPÓTESIS	15
VI. OBJETIVOS	16
VI.1. Objetivo General	16
VI.2. Objetivos Particulares	16
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	17
VI.1. Criterio para Seleccionar Especies	17
VI.2. Bases de Datos	19
VI.3. Modelos de Nicho	21
VI.4. Catálogo de Especies de Zonas Áridas para uso como Bioenergía	25
VIII. RESULTADOS	27
VIII.1. Criterios para Selección de Especies	27
VIII.2. Bases de Datos	28

VIII.3. Modelos de Nicho	28
VIII.4. Catálogo de Especies de Zonas Áridas con Posible Uso para Bioenergía	29
VIII.4.1. Familia Amaranthaceae	29
VIII.4.1.1. <i>Amaranthus palmeri</i>	29
VIII.4.2. Familia Asteracea	32
VIII.4.2.1. <i>Encelia farinosa</i>	32
VIII.4.2.2. <i>Helianthus annuus</i>	35
VIII.4.3. Familia Burseraceae	38
VIII.4.3.1. <i>Bursera laxiflora</i>	38
VIII.4.4. Familia Chenopodiaceae	41
VIII.4.4.1. <i>Salicornia bigelovii</i>	41
VIII.4.5. Familia Cucurbitaceae	45
VIII.4.5.1. <i>Cucurbita digitata</i>	45
VIII.4.5.2. <i>Cucurbita foetidissima</i>	48
VIII.4.5.3. <i>Ibervillea sonora</i>	51
VIII.4.6. Familia Euphorbiaceae	55
VIII.4.6.1. <i>Jatropha cardiophylla</i>	55
VIII.4.6.2. <i>Jatropha cinerea</i>	58
VIII.4.6.3. <i>Jatropha cordata</i>	62
VIII.4.7. Familia Fabaceae	65
VIII.4.7.1. <i>Olneya tesota</i>	65
VIII.4.7.2. <i>Prosopis velutina</i>	69
VIII.4.8. Familia Simmondsiaceae	73
VIII.4.8.1. <i>Simmondsia chinensis</i>	73
VIII.5. Especies que se Están Utilizando para Producción en Agroecosistemas con Fines Bioenergéticos	78
VIII.5.1. <i>Jatropha curcas</i>	78
VIII.5. 2. <i>Ricinus communis</i>	81
IX. DISCUSIÓN	85
IX.1. Especies Aptas para Bioenergía	85

IX.2. Distribución de Especies	86
IX.3. Modelos de Nicho	87
IX.4. Algoritmos de Máxima Entropía (MaxEnt)	88
IX.5. Relación entre la Distribución de las Especies y las Variables Ambientales	90
X. CONCLUSIONES	92
XI. LITERATURA CITADA	95



## LISTA DE TABLAS

Tabla I	Variables ambientales (capas climáticas) para el estado de Sonora y México	18
Tabla II	Contenido de aceite de varias especies	23
Tabla III	Lista de especies seleccionadas	27
	Contribuciones de las principales variables ambientales a la distribuciones potenciales de las especies de:	
Tabla VI	<i>Amaranthus palmeri</i>	31
Tabla V	<i>Encelia farinosa</i>	34
Tabla VII	<i>Helianthus annuus</i>	38
Tabla VIII	<i>Bursera laxiflora</i>	41
Tabla IX	<i>Salicornia bigelovii</i>	44
Tabla X	<i>Cucurbita digitata</i>	47
Tabla XI	<i>Cucurbita foetidissima</i>	51
Tabla XII	<i>Ibervillea sonorae</i>	54
Tabla XIII	<i>Jatropha cardiophylla</i>	58
Tabla XIV	<i>Jatropha cinerea</i>	61
Tabla XV	<i>Jatropha cordata</i>	65
Tabla XVI	<i>Olneya tesota</i>	69
Tabla XVII	<i>Prosopis velutina</i>	73
Tabla XVIII	<i>Simmondsia chinensis</i>	77
Tabla XIX	<i>Jatropha curcas</i>	81
Tabla XX	<i>Ricinus communis</i>	84
Tabla XXI	Contribuciones en % de las variables ambientales que intervinieron en mayor medida a la distribución potencial de las especies	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribución global de las zonas áridas	1
Figura 2	Esquema de los componentes considerados en un modelo de nicho	13
Figura 3	Ventana del programa MaxEnt	22
Figura 4	Curva operacional (curva ROC)	24
Figura 5	Inflorescencia terminal de quelite ( <i>Amaranthus palmeri</i> )	29
Figura 6	Distribución potencial de <i>Amaranthus palmeri</i>	30
Figura 7	Floración de rama blanca ( <i>Encelia farinosa</i> )	32
Figura 8	Distribución potencial de <i>Encelia farinosa</i>	33
Figura 9	Inflorescencias de gira sol ( <i>Helianthus annuus</i> )	35
Figura 10	Distribución potencial de <i>Helianthus annuus</i>	37
Figura 11	Hojas y fruto del torote prieto ( <i>Bursera laxiflora</i> )	38
Figura 12	Distribución potencial de <i>Bursera laxiflora</i>	40
Figura 13	Planta pequeña de espárrago de mar ( <i>Salicornia bigelovii</i> )	42
Figura 14	Distribución potencial de <i>Salicornia bigelovii</i>	43
Figura 15	Detalles de las hojas de calabaza pepo ( <i>Cucurbita digitata</i> )	45
Figura 16	Distribución potencial de <i>Cucurbita digitata</i>	46
Figura 17	Hojas, flor y fruto de la calabacilla loca ( <i>Cucurbita foetidissima</i> )	48
Figura 18	Distribución potencial de <i>Cucurbita foetidissima</i>	50
Figura 19	Frutos maduros de wereke ( <i>Ibervillea sonora</i> )	52
Figura 20	Distribución potencial de <i>Ibervillea sonora</i>	53
Figura 21	Detalle de las hojas del sangregado ( <i>Jatropha cardiophylla</i> )	55
Figura 22	Distribución potencial de <i>Jatropha cardiophylla</i>	57
Figura 23	Hojas y fruto de torotillo ( <i>Jatropha cinerea</i> )	59
Figura 24	Distribución potencial de <i>Jatropha cinerea</i>	60
Figura 25	Detalle de ramas y hojas de torota papelío ( <i>Jatropha cordata</i> )	62
Figura 26	Distribución potencial de <i>Jatropha cordata</i>	64
Figura 27	Floración del palo fierro ( <i>Olneya tesota</i> )	65

Figura 28	Distribución potencial de <i>Olneya tesota</i>	68
Figura 29	Inflorescencias y hojas del mezquite ( <i>Prosopis velutina</i> )	69
Figura 30	Distribución potencial de <i>Prosopis velutina</i>	72
Figura 31	Detalle del fruto de jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> )	74
Figura 32	Distribución potencial de <i>Simmondsia chinensis</i>	76
Figura 33	Detalle del fruto de piñón ( <i>Jatropha curcas</i> )	78
Figura 34	Distribución potencial de <i>Jatropha curcas</i>	80
Figura 35	Detalle de inflorescencia y fruto de higuera ( <i>Ricinus communis</i> )	81
Figura 36	Distribución potencial de <i>Ricinus communis</i>	83

## I. RESUMEN

La posibilidad de utilizar especies vegetales para la generación de bioenergía es muy alta en las zonas áridas y semiáridas, ya que existen muchas de ellas que no compiten con las destinadas para la alimentación humana. Este trabajo propone 14 especies vegetales adaptadas a condiciones de aridez con posible uso tanto para bioenergía en producción agronómica, para aprovechar las poblaciones naturales con fines de colecta o fomentar la restauración de terrenos degradados, integrando información taxonómica, fenológica, ecofisiológica y distribución potencial estimada mediante los modelos de nicho, mostrando las distribuciones geográficas más idóneas para cada especie. Los modelos de nicho de máxima entropía (MaxEnt), estimaron la distribución potencial de 14 especies adaptada a vivir en condiciones de aridez mediante información ambiental. Clasifiqué las distribuciones potenciales de las especies en base a un criterio propio, donde la mayor idoneidad en base a los estadísticos fueron para *Salicornia bigelovii*, *Ibervillea Sonorae*, *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cinerea*, *Prosopis velutina* y *Simmondsia chinensis*, en base al mismo criterio las especies bien modeladas fueron para *Encelia farinosa*, *Bursera laxiflora*, *Cucurbita digitata*, *Cucurbita foetidissima*, *Jatropha cordata* y *Olneya tesota*. A pesar que *Amaranthus palmeri* y *Helianthus annuus*, no mostraron distribución potencial muy idónea, supera en mayor medida a la distribución de las especies tropicales como *Jatropha curcas* y *Ricinus comunies*, que son las propuestas para la implementación en agroecosistemas de zonas áridas y semiáridas del país para producción de biocombustibles, siendo opciones no factibles, ya que las especies propuestas si están adaptadas a vivir en condiciones de aridez y se pudieron comprobar con las contribuciones de las variables ambientales, de lo cual no implicarían insumos extras para mantenerlas, ya que el factor limitante de estas zonas son los escasos recursos hídricos y las altas temperaturas.

## II. INTRODUCCIÓN

Muchas de las zonas áridas del mundo se encuentran cercanas a los 30° de latitud en ambos hemisferios. A estas latitudes a lo largo del globo, existe la formación de sistemas semipermanentes de alta presión superficiales, que es lo que determina la aridez en dichas zonas. Los sistemas de alta presión subtropicales se asocian con aire descendente y traen consigo tiempo claro, seco y cálido sobre las áreas donde se posicionan (Brito et al, 2010). La superficie ocupada por todas las zonas áridas del mundo varía en función de la clasificación climática utilizada. Según el Atlas Mundial de Desertificación 1992, el 37% de la superficie del planeta estaba ocupado por zonas con algún grado de aridez, correspondiendo el 17.7% a las zonas semiáridas, el 12.1% a las zonas áridas y el 7.5% para las zonas hiperáridas (Figura 1) (Gutiérrez, 1998).

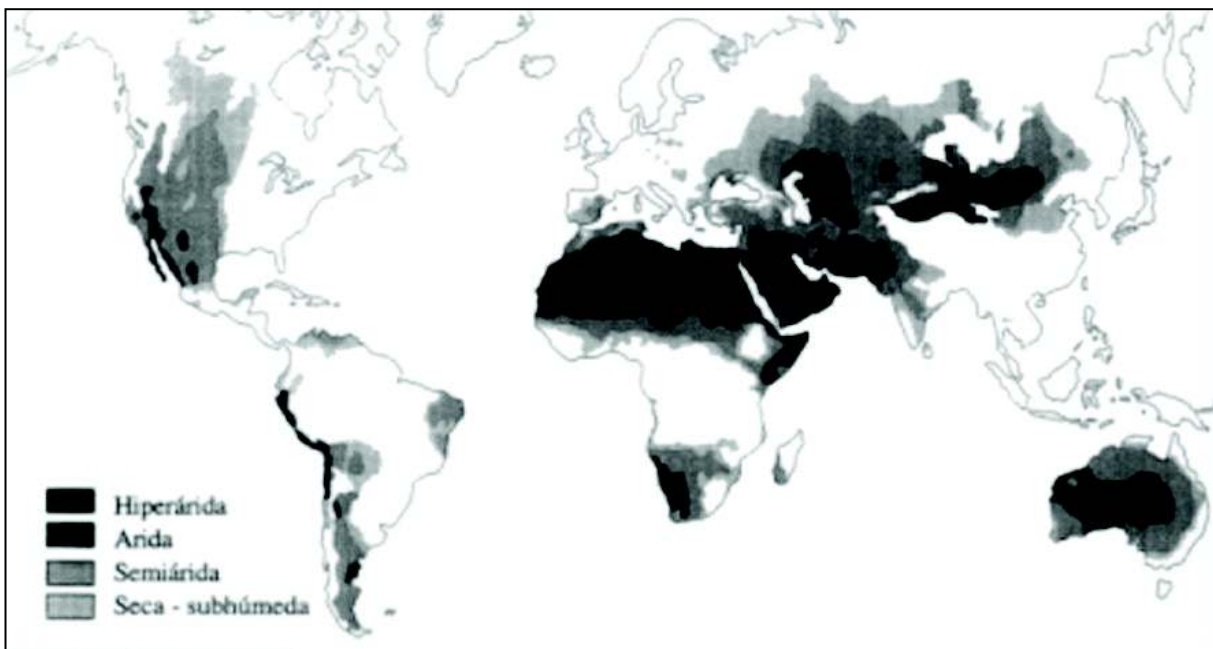


Figura 1. Distribución global de las zonas áridas (Gutiérrez, 1998).

Las zonas áridas y semiáridas de México ocupan casi el 56% del territorio nacional (Flores-Tena, 1992; INEGI, 2010) y dan hogar a casi una cuarta parte de la población total del

país (INEGI, 2010). En general, en el país es posible distinguir diversas zonas áridas de las cuales las de mayor superficie son el desierto Chihuahuense y el desierto Sonorense.

Las zonas áridas de México son capaces de sostener la industria de la bioenergía y biocombustibles como el etanol o el biodiesel a partir de especies de plantas adaptadas a estas zonas que no han sido estudiadas. Una manera de efectuar este tipo de estudios es principalmente conociendo la distribución potencial de las especies que aún no se han estudiado, mediante modelos de nicho ecológico.

Los modelos de nicho son técnicas estadísticas que están siendo utilizadas para calcular la distribución potencial de especies en cierta región geográfica (Souza-Muñoz et al., 2009), utilizando envolventes ambientales tales como humedad, disponibilidad de luz y agua, salinidad, pH y nutrientes (Ozinga et al., 2005). Son una herramienta de gran alcance para predecir la distribución de las especies en diferentes contextos geográficos y temporales del medio ambiente, con condiciones que determinan el nicho fundamental de una especie. El nicho ecológico hace referencia al hábitat actual en el cual se desarrolla el organismo, y cómo éste interactúa con los factores bióticos y abióticos que lo rodean (Iloldi-Rangel et al., 2008). Los modelos de nicho ecológico están siendo utilizados no solo para entender las condiciones bajo las que existen las especies, también son usados para comprender aspectos de la biogeografía, predecir la existencia de poblaciones, localidades desconocidas, los cambios ambientales, diseño de sistemas de reserva e identificar los sitios de translocaciones y reintroducciones (Peterson, 2006). En este estudio se utilizan los modelos de nicho para conocer la distribución potencial de especies que representen una posible fuente para bioenergía y biocombustibles en zonas áridas, aunado a una amplia búsqueda bibliográfica que contengan la información básica de la especie, sus características ecológicas, y posible distribución para permitir evaluar a cada una de las 14 especies que poseen potencial de utilización, permitiendo desarrollar estrategias sustentables a partir de las especies más adecuadas como nuevas alternativas de uso para las zonas naturales o agroecosistemas de estas zonas del País.

### **III. ANTECEDENTES**

#### **III.1. Crisis Energética Mundial**

La crisis energética debida al incremento en la demanda mundial de combustibles y al agotamiento de las fuentes de energía convencionales, así como al aumento de la población humana, ha ocasionado la necesidad de buscar nuevas fuentes alternativas de energía que no alteren el equilibrio ecológico así como ha sucedido con los combustibles fósiles que han causado grave alteración al medio ambiente (Marriaga, 2009). Las fuentes de energía sin emisiones de carbono como la bioenergía, energía eólica, solar y geotérmica pueden reducir tanto las emisiones de uso residencial, comercial e industrial (Groom et al., 2007). En el presente, el uso de fuentes alternativas de energía, como la energía hidráulica, la geotérmica, la energía obtenida a partir de biomasa, la energía eólica y la solar, son de gran importancia ya que existen limitaciones en las reservas de las fuentes de energía tradicionales no renovables, como los combustibles fósiles (Quintero et al., 2008).

Los combustibles de origen fósil han sido muy útiles en el desarrollo de nuestra sociedad, y en particular para México han sido la base para el desarrollo de la Nación, mas sin embargo la diversificación de fuentes primarias de energía favorece la seguridad energética al disminuir nuestra dependencia en una sola fuente de energía. Es importante fomentar la diversificación tecnológica para usos de combustibles tradicionales, sin embargo, los principales esfuerzos deben estar enfocados en incorporar las fuentes de energía renovables como parte de nuestro sistema de producción (Escalante, 2008).

Hace más de 100 años a fines del Siglo XIX, un ingeniero alemán llamado Rudolph Diesel, inventó el motor de combustión interna; a partir de allí implementó versiones de una máquina que utilizaba aceite de cacahuete como fuente de energía (Bozbas, 2005). La búsqueda de un combustible que pudiera reemplazar el combustible fósil, emergió nuevamente durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se destaca la investigación realizada por Otto y Vivacqua en Brasil sobre el diesel de origen vegetal (Barraza, 2007) y hasta el año 1970, fue cuando el tema de biocombustibles se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética del momento y del elevado costo del petróleo (Arias et al, 2006; Barraza, 2007).

## **III. 2. Bioenergía y Biocombustibles**

La bioenergía es la energía que es obtenida de biomasa producida a partir de materiales orgánicos (Escalante, 2008) que se han convertido a forma líquida, sólida o gaseosa, según la materia prima básica y la tecnología empleada (IAASTD, 2009). Pueden tener su origen desde cultivos acuícolas, cultivos de algas, así como una amplia variedad de materiales vegetales, como los desechos agrícolas, forestales y urbanos, hasta los cultivos plantados específicamente para producir biocombustibles (Escalante, 2008). Los biocombustibles pueden ser tanto de materia vegetal sólida, como astillas de madera y otros tipos de biomasa leñosa, que puede utilizarse como combustible directamente, por lo general en las cocinas tradicionales, así como los biocombustibles líquidos como el bioetanol y el biodiesel (IAASTD, 2009). Algunos autores mencionan que: “Todos los biocarburantes incluyendo el biodiesel, son biodegradables y renovables, es decir, potencialmente inagotables, siempre que se practique una buena gestión en los cultivos de los cuales provienen y que no se compita con la industria destinada para la alimentación” (González, 2007).

### **III.2.1. Biomasa**

La biomasa es una fuente de energía que por muchas razones puede contribuir al desarrollo sostenible para cubrir las demandas energéticas de la población mundial en forma de bioenergía, con recursos localmente disponibles para que la conversión de energía secundaria sea factible, sin usar grandes inversiones de capital en transporte (Quintero et al., 2008). El reemplazo de combustibles fósiles por combustibles de biomasa, o el conjunto de estos dos, pueden servir para reducir emisiones o evitar los efectos más perjudiciales del calentamiento climático global, y al implementar conjuntamente estas dos estrategias es muy probable que se reduzcan las emisiones de efecto invernadero, aunado a la idea de que se deben de implementar muchas más estrategias para poder afrontar los retos del cambio climático global (Groom et al., 2007).

La energía a partir de biomasa posee un rol importante en la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero, debido a que el CO<sub>2</sub> que proviene de residuos de biomasa ha



sido originalmente absorbido del aire, constituyendo las plantaciones de biomasa fuentes de energía y de empleo para la población, generando nuevas oportunidades en áreas rurales, que contribuyen al aspecto social de la sustentabilidad (Quintero et al., 2008).

### **III.2.2. Bioetanol**

El bioetanol se produce de la conversión de biomasa vegetal como caña y maíz (Medina-Juárez et al., 2008), mediante su fermentación. Los residuos agronómicos de cañas y hojas de maíz (mazorcas de maíz y tallos), residuos de la caña de azúcar, paja de trigo o arroz, y los residuos de las fábricas de papel, puede convertirse en etanol. En Estados Unidos la mayoría del bioetanol es obtenido por fermentación de glucosa, de la sacarosa en Brasil, aunque cualquier país con una economía basada en la producción agropecuaria puede acceder al uso de la tecnología actual para la fermentación de etanol (Quintero et al., 2008). Se ha potenciado el uso de bioetanol en el mundo especialmente en países como Estados Unidos y Brasil, esto ha llevado a los investigadores a explorar distintas opciones para la producción de etanol analizando distintas materias primas ricas en sacarosa, almidón o material lignocelulósico (Marriaga, 2009).

### **III.2.3. Biodiesel**

El biodiesel está compuesto de metilésteres de ácidos grasos con cadena larga, obtenidos a partir de la transesterificación del aceite y metanol, derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales de soya, colza, canola, girasol o palma, entre otros, o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel (NextFuel, 2006; Johanes et al., 2008; Medina-Juárez et al., 2008). Los metilésteres provenientes de los aceites vegetales mejoran su viscosidad, volatilidad y combustión cuando son transformados en biodiesel, siendo una alternativa viable, debido a las ventajas económicas y de sustentabilidad ambiental que representan para el futuro inmediato (Medina-Juárez et al., 2008).

En la industria, los biocombustibles líquidos como el biodiesel, son productos que se están usando como sustitutivos de la gasolina y del gasóleo de vehículos y que son obtenidos a partir de materias primas de origen orgánico y de las distintas transformaciones que puede sufrir la materia orgánica. Debido a sus características se han convertido en una alternativa viable para satisfacer las demandas de energía mundial, ya que a diferencia de otras fuentes de energía no renovables tienen beneficio hacia el medio ambiente ya que es mayor la ganancia de energía neta, es decir generan más energía que la utilizada para su producción, siendo económicamente competitivo y con producciones en grandes cantidades, sin reducir el suministro de alimentos (Hill et al., 2006).

Las primeras investigaciones sobre el desarrollo de biocombustibles líquidos como biodiesel y bioetanol, fueron por parte de los países pioneros como Estados Unidos de Norteamérica, Brasil y la Unión Europea principalmente (Coviello et al., 2008), a partir de especies adaptadas a las condiciones climáticas de estos países. El principal desafío se encuentra en aumentar el número de especies útiles para bioenergía o biocombustibles, en base en la búsqueda de una sustentabilidad ecológica y económica, encontrando especies adaptadas a las condiciones climáticas donde se encuentran originariamente o se cultivan, aprovechando la aparición de estos nuevos nichos mercantiles para la producción comercial de aceite o biomasa que no sean comestibles (García-Panela, 2007). Por lo cual para generar nuevas alternativas de usos bioenergéticas para zonas con algún grado de aridez Sonora y México, es mediante especies adaptadas y de preferencia nativas a las condiciones climáticas, donde principalmente existan.

### **III.3. Estrategias Adaptativas de Especies Vegetales a Zonas con Algún Grado de Aridez**

Las dos principales zonas con algún grado de aridez en México son el desierto Chihuahuense y el desierto Sonorense, contando cada uno de estos sitios con similitudes y diferencias que le permiten sustentar las diferentes formas de vida de plantas y animales que están adaptadas a vivir en estos lugares.

El desierto Chihuahuense cuenta con una superficie estimada de 507 000 km<sup>2</sup>, es el desierto más extenso de norteamérica. El clima está determinado por la sombra de lluvia, ya

que se encuentra entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental que impiden que la humedad del Golfo de México, del Mar de Cortés y del Océano Pacífico penetre en la región, lo que crea condiciones de aridez. A partir de las regiones de baja altitud, los promedios de temperatura máxima disminuyen y la precipitación se incrementa en proporción al aumento de la elevación. Las temperaturas de invierno son prácticamente inexistentes, solo recibiendo en las zonas norteñas precipitación en forma de nieve. Registrándose 16 diferentes comunidades vegetales para la región. Se encuentran desde hábitats montanos con arbustos bajos, matorrales desérticos; matorral rosetófilo, el izotal, mezquital así como pastizales, chaparrales (Hernández, 2006).

El desierto Sonorense cuenta con una extensión de 260 000 km<sup>2</sup>, la precipitación media anual varía de 76 milímetros anuales en las zonas más secas hasta 400 milímetros. La diversidad vegetal se estima entre 3300-3500 especies, de las cuales más o menos la mitad son endémicas (Hernández, 2006, Brito et al. 2010). Existe la presencia de cactáceas columnares así como abundantes arbustos, con forma de crecimiento similar a los de los árboles, lo cual es inusual en los ecosistemas desérticos (Hernández, 2006). Las plantas xerófilas como las del matorral desértico son las que mejor se han adaptado a estos tipos de ecosistemas. Lo que determina la aridez en el desierto Sonorense es la influencia cercana de dos sistemas de alta presión: los sistemas de alta presión del Pacífico Oriental y de las Bermudas. La formación de estos sistemas de alta presión está asociada a la circulación de escala global que mueve el exceso de energía desde las regiones ecuatoriales hacia los polos (Brito et al, 2010).

Las zonas áridas son por lo general percibidas como terrenos inhóspitos e improductivos, en donde la escasa lluvia no permite la supervivencia de organismos vivos (Hernández, 2006; Alcaraz, 2011), caracterizándose por ser áreas con escasa precipitación y consecuentemente con cobertura vegetal reducida o inexistente (Gutiérrez, 1998). Sin embargo las zonas áridas son en realidad sistemas ecológicos complejos, ricos en organismos que interactúan entre sí y con su medio físico (Hernández, 2006), con climas muy variables caracterizándose generalmente por una escasa precipitación y elevadas temperaturas con una acusada amplitud diurna (Gutiérrez, 1998). Definiéndose como comunidades biológicas cuyos organismos, en su mayoría, están adaptados a una aridez crónica, determinada por sequías periódicas y extremas (Alcaraz, 2011). Una zona árida ó desértica es determinada ya que la precipitación es menor que la pérdida potencial de agua mediante la evaporación y la

transpiración de las plantas (Hernández, 2006), y es definida en base al rango de precipitación anual, para las zonas semiárida es de 200-500 mm, zonas áridas de 25-200 mm e hiperáridas en las que no existe un régimen estacional de precipitaciones (Gutiérrez, 1998).

La aridez es el principal factor determinante para las zonas áridas, así como la morfología, fisiología y comportamiento de sus habitantes, ya sean plantas o animales (Gutiérrez, 1998). En el transcurso del proceso evolutivo, las plantas y los animales de estas zonas han desarrollado diversas adaptaciones que les han permitido sobrevivir en estos tipos de ambientes, siendo los principales factores limitantes la escasez de agua y la excesiva variación térmica en la superficie del suelo, limitando la supervivencia de los organismos a las zonas áridas, desarrollando numerosas estrategias adaptativas, implicando modificaciones estructurales, fisiológicas o conductuales (Hernández, 2006).

Las plantas poseen una serie de rasgos diseñados para aprovechar el agua de una manera muy eficaz (Hernández, 2006), como los de las xerófilas (Giménez et al, 2007), quienes son en general plantas leñosas y arbustos que poseen hojas pequeñas y espinas (Durán, 2002). Algunas otras plantas son efímeras y de corta vida, para estar en condiciones estresantes (Giménez et al., 2007), teniendo ciclos de vida en una temporada o en una época de lluvias, esto significa que pueden germinar, desarrollarse y reproducirse en sólo tres o cuatro meses (Durán, 2002). La forma de vida, ya sean árboles, arbustos, enredaderas etc., son algunas de las estrategias que poseen las plantas para evitar la falta de agua así como las especies anuales que evaden condiciones estresantes al igual que las especies perennes de hoja caduca que así evitan el estrés hídrico (Lambers, 2008), ya que la forma más simple de evitar daños por estrés hídrico es deshacerse de las hojas, reduciendo así la demanda de carbono y agua (Castro, 2001; Hernández, 2006). Otra de las estrategias es la rehidratación, consistiendo cuando existe un periodo de sequía, las hojas se secan pareciendo que están muertas, pero cuando regresan condiciones favorables estas hojas recuperan su actividad fisiológica, recuperando su protoplasma en la medida en que el potencial hídrico de las células está en equilibrio con el aire y pueden restaurarse casi por completo (Lambers, 2008). Otro mecanismo para mejorar la economía hídrica de las plantas que crecen en zonas áridas consiste, en reducir la proporción de superficie de la planta expuesta a la atmósfera con respecto a la proporción de raíz, que es el órgano encargado de captar agua del suelo (Castro, 2001). Otra estrategia de las plantas para evitar la pérdida de agua por sobrecalentamiento en

las hojas, es disponerlas en orientación vertical al sol, ya que este ángulo de inserción suele ser bastantes cerradas respecto a la vertical (Castro, 2001). Las espinas y las pubescencias son para que evitar que penetre directamente la radiación solar y evitar perder agua (Lambers, 2008). Por lo general las pubescencias se encuentran en las hojas en forma de vellosidades blancas, que reflejen la luz incidente del sol reduciendo el sobrecalentamiento y ayudando a crear un microclima húmedo en torno a la hoja capaz de retener el vapor de agua que se pierde por los estomas evitando la transpiración (Castro, 2001). La gruesa cutícula cerosa que recubren a las hojas son para evitar que pierdan agua (Lambers, 2008) ya que las vuelve muy impermeable recubriendo la mayor parte de las estructuras aéreas de la planta (Hernández, 2006). La succulencia también es una estrategia contra el estrés hídrico ya que las plantas desarrollan estructuras de almacenamiento de agua para poder sobrevivir en ambientes estresantes (Hernández, 2006). Algunas plantas reducen la transpiración mediante el desarrollo de mecanismos fotosintéticos alternos que reducen la pérdida de agua por la transpiración (Castro, 2001; Hernández, 2006), como en plantas suculentas que tienen la vía CAM que reducen al mínimo los efectos de la sequía mediante la apertura de sus estomas en la noche y concentrando su actividad en las estaciones húmedas (Lambers, 2008). Otra de las estrategias adaptativas de las plantas ante suelos salinos es mediante la formación de cristales de sal para influir en el potencial hídrico y osmótico, captando la mayor agua del suelo (Lambers, 2008). También la estructura del xilema puede contribuir al ahorro de agua, ya que en algunas especies que crecen en localidades con distinta pluviosidad se ha observado que el diámetro de los conductos que conforman el xilema disminuye en los individuos que crecen en las regiones más secas y con ello el volumen del agua que pueden transportar por unidad de tiempo (Castro, 2001). Otras de las adaptaciones importantes de las plantas leñosas a las condiciones de aridez es la forma de la raíz en especies de plantas denominadas freatófitas, son las que producen raíces de hasta 50 m de profundidad (Gutiérrez, 1998; Giménez et al., 2007), hasta llegar a los mantos freáticos donde sí hay disponibilidad de agua (Lambers, 2008), así como poseer sistemas de redes complejas de raíces superficiales para poder aprovechar los pulsos de agua mediante precipitaciones (Hernández, 2006). Todas estas estrategias de las plantas de zonas áridas son las que las han conllevado a tener éxito y a sobrevivir en estos tipos de ambientes.

### **III.4. Utilización de Especies de Zonas Áridas para Bioenergía**

Debido a las características mencionadas antes, y que poseen las especies de plantas adaptadas a zona áridas, es por lo cual se les ha puesto un interés para ser aprovechadas de varias maneras y una de ellas es para la generación de bioenergía.

Existen trabajos donde se han estado buscando nuevas alternativas para la generación de energías sustentables, como por ejemplo se han hecho estudios para determinar la composición de aceites o biomasa útiles para biocombustibles. Las semillas son los órganos en donde los aceites se concentran en mayor medida, siendo utilizados como principal materia prima para la producción de biodiesel. Moles et al. (2005) realizaron un estudio donde encontraron que los cambios en la masa de la semilla están relacionados con la forma de crecimiento, asociados con la divergencia en la temperatura, la productividad primaria neta, la precipitación y se correlacionaron negativamente con las divergencias en la latitud. De acuerdo a las diversas formas de crecimiento, la mayor densidad en masa de las semillas son los árboles o arbustos, seguidos por las hierbas y lianas (Dalling et al., 2002). Para su uso como biocombustible, será importante estudiar el contenido de aceites en diferentes especies y formas de crecimiento. Llano-Sotelo et al., (2003), realizaron un estudio en el cual compararon la composición química de semillas de ciertas especies de leguminosas, bajo tratamientos de riego y de sequía, de lo cual encontraron que la composición química proximal y el contenido calórico difirieron para las especies cultivadas sometidas a irrigación y sequía. El estudio se enfocó a las leguminosas, ya que es la familia de plantas más útiles para el hombre, por ser la fuente principal de proteínas vegetales que se concentran en semillas y hojas (Llano-Sotelo et al., 2003), y tal como lo menciona León (1987): “Las semillas de ciertas leguminosas contienen aceites útiles en la alimentación y la industria, siendo en esta última las más importantes actualmente la soya y el cacahuate”.

Las especies que se están utilizando para generación de biocombustibles en otras regiones, han sido seleccionadas ya que responden adecuadamente ante las condiciones ambientales en las cuales se cultivan. Es por esto que para las regiones áridas o semiáridas de México, se deberán proponer otras alternativas en base a los recursos naturales disponibles, donde las principales opciones deberán ser especies que eviten competir con la industria

alimenticia, desarrollando alternativas agro-ecológicas más viables, promoviendo el uso de las regiones áridas y semiáridas de nuestro país.

### **III.5. Características y Uso de Bases de Datos Taxonómicas**

Una herramienta de gran utilidad para conocer la biodiversidad de especies son las bases de datos taxonómicas, siendo de gran apoyo para entender diversos aspectos de distintas índoles, incluyendo datos para las zonas áridas y semiáridas del país, donde podemos conocer la distribución geográfica y ecológica de las especies de plantas, junto a sus características químicas y/o bioenergéticas, determinando si podrían tener potencial para generar biocombustibles o bioenergía en México.

Existen diversas bases de datos a nivel mundial, nacional y regional como IABIN (Inter American Biodiversity Information Network), Sib (Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia) etc., de fácil acceso vía electrónica que permiten su utilización para conocer la biodiversidad, y dentro de las más importantes para el norte del país son las bases de datos de SEINet y REMIB.

SEINet, Southwest Environmental Information Network, fue creado para la distribución de los recursos de datos de interés para la comunidad de investigación del medio ambiente en Arizona y regiones cercanas. A través de la interfaz de la red (web interface) de SEINet, se ofrece una herramienta para localizar, acceder y trabajar con una variedad de datos. Es más que un sitio web, ya que es un conjunto de tecnologías de acceso de datos y una red distribuida de instituciones, museos y agencias que proporcionan la información ambiental. Inicialmente creado para integrar bases de datos dentro de la Universidad Estatal de Arizona, SEINet está creciendo para extender esta red a otros socios en el suroeste de los EEUU (SEINet, 2010) y norte de México.

REMIB, Red Mundial de Información Sobre Biodiversidad, es una red interinstitucional que comparte información biológica, y está constituida por nodos, formados por los centros de investigación que albergan las colecciones científicas (REMIB, 2010).

### III.6. Uso de Modelos de Nicho para la Distribución Potencial de Especies

Conocer la distribución de las especies es primordial para cualquier trabajo de estudio, y así poder generar estrategias sustentables en la posibilidad de utilizar plantas de zonas áridas destinadas para la obtención de biocombustible (Medina-Juárez et al., 2008).

Existen programas computacionales que generan modelos de nicho que consisten en la modelación de la distribución de las especies utilizando información ambiental. Estos programas son una herramienta de gran utilidad para determinar dónde pudieran encontrarse las especies que nos interesa estudiar por su potencial para generar biocombustibles.

Las especies de plantas se han adaptado a vivir en diferentes condiciones ambientales en que se han desarrollado, existiendo una estrecha relación entre la distribución de las especies y las características ambientales. Existiendo gradientes ambientales de humedad, disponibilidad de luz, agua, salinidad, pH y nutrientes que pueden ayudar a predecir las especies que componen cierta área geográfica (Ozinga et al., 2005). Diversas técnicas de ordenación han permitido cuantificar gradientes, efecto de las diferencias interespecíficas en los rasgos de dispersión; ya sean a largas distancias o en el tiempo, sobre la previsibilidad de la distribución de especie bajo ciertas condiciones ambientales (Ozinga et al., 2005). Estos modelos se denominan como modelos de nicho ecológico.

Los modelos de nicho son técnicas de modelación computacionales que han sido utilizados y desarrollados en un intento de calcular la distribución potencial de las especies por medio de diversos factores (Souza-Muñoz et al., 2009). Los modelos de distribución potencial, proporcionan una herramienta de gran alcance para predecir distribución de las especies en diferentes contextos geográficos y temporales del medio ambiente con condiciones que determinan el nicho fundamental de una especie (Liras, 2008) (Figura 2).

El nicho ecológico hace referencia al tiempo actual en el cual se desarrolla el organismo, y cómo éste interactúa con los factores bióticos y abióticos que lo rodean (Illoldi-Rangel et al., 2008). Con los modelos de nicho ecológico, no solo se usan para entender a las especies, si no también están siendo utilizados para comprender aspectos de la biogeografía, predecir la existencia de poblaciones, especies desconocidas, diseño de sistemas de reserva, cambios ambientales, o identificar los sitios de translocaciones y reintroducciones (Peterson, 2006).



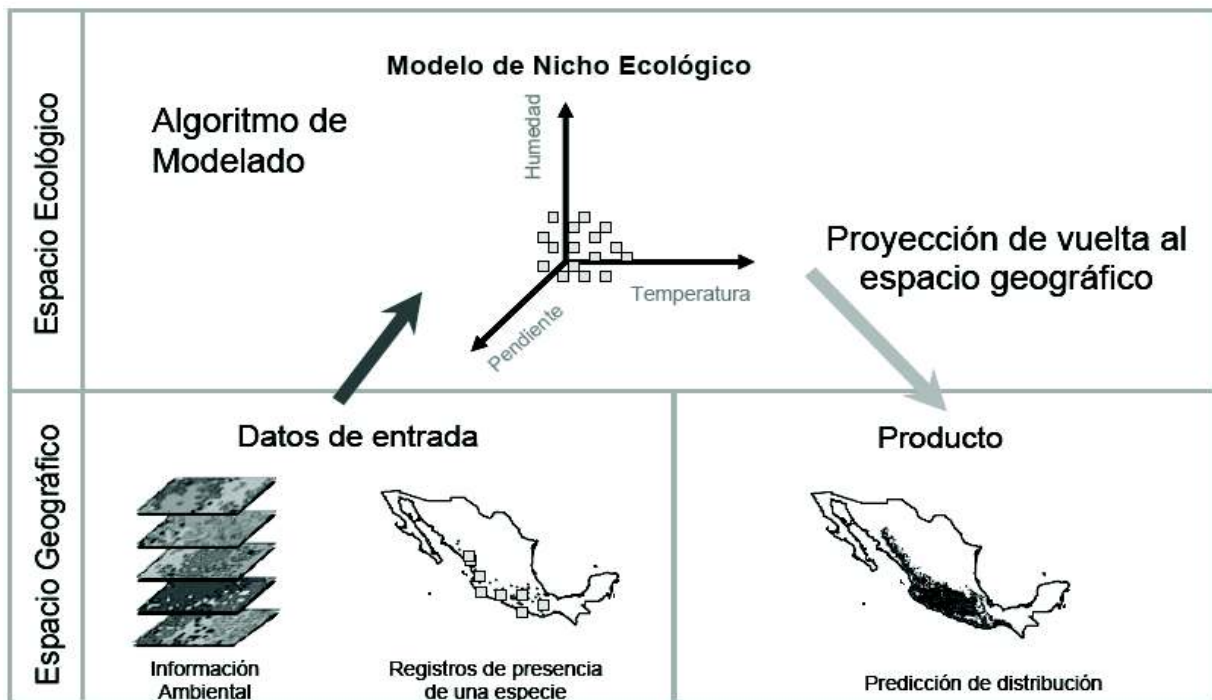


Figura 2. Esquema de los componentes considerados en un modelo de nicho. Fuente: Liras, 2008.

Con el desarrollo de algoritmos matemáticos, se han creado varios modelos como BIOCLIM: modelado a partir del uso de algoritmos de envolturas climáticas, GARP: modelado a partir del uso de algoritmos genéticos y MaxEnt: modelado a partir del uso de algoritmos de máxima entropía. MaxEnt permite modelar con mayor precisión el nicho ecológico de los taxones (Illoldi-Rangel et al., 2008). El método de máxima entropía, estima una distribución de especies desconocidas a partir de lo que se conoce, ajustándose a las distribuciones más extendidas, cercanas y uniforme (Liras, 2008).

Cuando se proyecta en una región geográfica el modelo de nicho obtenido, el resultado es un mapa mostrando la distribución potencial de la especie, donde se encuentran áreas semejantes ecológicamente donde se encuentra su distribución real (Souza-Muñoz et al., 2009). Los modelos de nicho deben de utilizarse como aproximaciones a las áreas de distribución (Illoldi-Rangel et al., 2008), ya que se modela en base a las variables ambientales que se encuentran relacionadas con los puntos de distribución, haciendo la proyección en contextos geográficos.

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

La información que se generará en este trabajo, será de gran relevancia, ya que no se conocen otras opciones de especies que tengan potencial para utilización bioenergética. Además se conocerá la distribución potencial de diferentes especies con fines de establecer las condiciones climatológicas que determinan su posible distribución, así como las características ecológicas relacionadas con los hábitats en que se distribuyen, y sugerir formas de uso sustentable del recurso, incluyendo la posibilidad de establecer agroecosistemas que sean ecológicamente viables para las zonas áridas de Sonora y México.

## **V. HIPÓTESIS**

La utilización de modelos de nicho permite conocer la distribución potencial de distintas especies de plantas. Las características químicas, ecológicas y de distribución permiten evaluar el potencial de utilización de diversas especies para bioenergía y biocombustibles. Por lo tanto, el uso de los modelos de nicho, asociados con las características y atributos de las especies con potencial de uso para bioenergía, permitirá desarrollar estrategias sustentables a partir de las especies más adecuadas para la generación de bioenergía en las zonas áridas de Sonora y México, así como nuevas alternativas de uso para los agroecosistemas de estas zonas del país.

## **VI. OBJETIVOS**

### **VI.1. Objetivo General**

Determinar los modelos de nichos de algunas especies de las familias Amaranthaceae, Asteraceae, Burseraceae, Chenopodiaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae y Simmondsiaceae de las zonas áridas de Sonora y México, que por sus características químicas, taxonómicas y ecofisiológicas, así como su distribución y hábitats en que crecen, pudieran considerarse como fuente potencial para la producción de bioenergía y biocombustibles.

### **VI.2. Objetivos Particulares**

Generar los modelos de nicho de especies adaptadas a las zonas áridas de México, determinando su distribución potencial, con el fin de utilizarlas como insumo para la generación de fuentes alternas de bioenergía.

Describir algunas de las características taxonómicas, ecofisiológicas, fenológicas y distribución de las especies seleccionadas con potencial bioenergético.

Describir las relaciones entre la distribución potencial de las especies estudiadas y las principales variables ambientales de las localidades en que se encuentran, utilizando modelos de nicho ecológico.

Generar un catálogo que proponga alternativas de nuevas fuentes para bioenergía en las zonas áridas de Sonora y México.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### VII.1. Criterio para Seleccionar Especies

Se realizó la búsqueda de familias de plantas que se distribuyeran en zonas áridas, para la generación de modelos de nicho y determinar la distribución potencial de especies de plantas adaptadas a condiciones de aridez. Se seleccionaron las familias con conocimiento de distribución en zonas áridas de México, donde se seleccionaron: Amaranthaceae, Asteraceae, Burseraceae, Chenopodiaceae Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae y Simmondsiaceae.

Para la selección de géneros y especies de plantas más adecuadas para el trabajo se siguieron varios criterios. En la selección de especies, se consideró a los géneros con antecedentes de utilización para aceite ó biomasa, buscando así plantas dentro de esos mismos géneros que podrían ser útiles para generar bioenergía. En base a la búsqueda de información bibliográfica como libros, artículos científicos y en Internet, consultando referencias de autores que han determinado especies pueden tener potencial de uso bioenergético o de biocombustibles. Otros de los criterios de selección de especie fue utilizando la recopilación de datos generada por investigaciones previas llevadas a cabo por los investigadores y estudiantes del Laboratorio de Ecofisiología Vegetal-DICTUS en la Universidad de Sonora, donde se realizaron análisis químicos para determinar el contenido en aceites de especies de familias como Amaranthaceae, Asteraceae, Burseraceae, Chenopodiaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Simmondsiaceae entre otras (Tabla I). Las especies de plantas utilizadas para análisis químicos, fueron de colectas previas del equipo de trabajo del Laboratorio de Ecofisiología Vegetal. De dichas especies verificamos cada uno de los ejemplares en el Herbario de la Universidad de Sonora-USON, para corroborar las especies, revisando nomenclaturas y asegurarnos que fueran las especies correctas en su identificación.

Tabla I. Contenido de aceite en las semillas de especies de zonas áridas con potencial de utilización, clasificada dependiendo de la forma de vida. Fuente: Castellanos et al., 2011.

CONTENIDO DE ACEITE		
	FORMA DE VIDA Y ESPECIES	% ACEITE
<b>Arboles</b>	<i>Olneya tesota</i> A. Garay	47.09
	<i>Bursera laxiflora</i> S. Watson	24.15
	<i>Prosopis velutina</i> Woot	20.15
<b>Arbustos</b>	<i>Simmondsia chinensis</i> (Link) Schneider	47.35
	<i>Jatropha curcas</i> L.	46.00
	<i>Jatropha cordata</i> Müll. Arg	38.81
	<i>Jatropha cardiophylla</i> (Torr.) Mull. Arg	37.23
	<i>Encelia farinosa</i> A. Gray ex Torr	35.53
	<i>Jatropha cinérea</i> (Ortega) Mull. Arg	34.94
	<i>Ricinus communis</i> L.	35.80
<b>Hierbas</b>	<i>Cucurbita digitata</i> A. Garay	46.15
	<i>Cucurbita foetidissima</i> Kunth	36.00
	<i>Ibervillea sonora</i> (S. Watson) Green	33.02
	<i>Salicornia bigelovii</i> L.	29.70
	<i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats	21.91
	<i>Helianthus annuus</i> L.	26.58

De las especies ya seleccionadas primeramente se localizaron las que habitan y se reportan dentro de las zonas áridas de México, principalmente en los desiertos Chihuahuense y Sonorense. En base a búsqueda bibliográfica y Sistemas de Información Geográfica (SIG) de Google Earth (Keyhole Inc.), se visualizó a las zonas áridas o degradadas de México, ya que los SIG muestran imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite y mapas, utilizando el motor de búsqueda de Google que permite visualizar imágenes a diferentes escalas para un lugar específico del planeta (Google Earth, 2009). La selección de zonas áridas y semiáridas del Desierto Chihuahuense fue seleccionada en porciones del territorio de los

estados de Coahuila, Zacatecas, Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo y Morelos; y para el Desierto Sonorense se incluyó la mayor parte de Sonora y Baja California. Adicionalmente se consideraron algunas partes de los estados de Sinaloa, Nayarit, Colima, Jalisco, Michoacán y Guerrero, incluyendo estas zonas por poseer porciones de territorio con condiciones de semi-aridez y degradación (Gutiérrez, 1998; Hernández, 2006). A excepción las especies exóticas como *Jatropha curcas* y *Ricinus communis* se utilizaron todos los puntos geográficos que se localizaran en el país, ya que se utilizaron en el trabajo solo con fines comparativos.

## VII.2. Bases de Datos

Se realizó la búsqueda de datos de las especies de plantas seleccionadas en los herbarios de las bases de datos de SEINet y REMIB dispuestas en línea. La búsqueda de datos se realizó individualmente para cada Estado de la República Mexicana que incluya zonas áridas y semiáridas en alguna porción de su territorio, en base a los puntos geográficos (coordenadas) de los sitios de colecta.

En la base de datos de SEINet, se seleccionaron varios herbarios, entre los cuales se encuentran; University of Arizona Herbarium (ARIZ), University of California - Riverside Plant Herbarium (UCR), Arizona State University-Vascular Plant Herbarium (ASU), Deaver Herbarium (Northern Arizona University) (ASC), Desert Botanical Garden Herbarium Collection (DES), Herbario de la Universidad de Sonora (USON) en el DICTUS, Navajo Nation Herbarium (NAVA), The Cochise County Herbarium (COCHISE), University of New Mexico Herbarium (UNM), NMSU y Center for Natural History Collections Herbarium (NMC).

Después de seleccionar los distintos herbarios dentro de SEINet, se procedió a introducir el nombre de la familia, para obtener una tipo de filtro donde se introdujeron los datos de localidades a buscar (como por ejemplo: ciudad, estado o país) para el control en la búsqueda de los sitios de colecta, obteniendo datos con mayor precisión, ya que mediante esta opción se pueden extraer datos de un área que abarcará por ejemplo distintos estados (Ejemplo Sonora, Chihuahua y Sinaloa) o Países (Ejemplo México-Estados Unidos o sólo México). La

búsqueda arroja una lista de especies que fueron recuperadas de los distintos herbarios en esa misma página en la parte superior derecha se encuentra un pequeño icono donde muestra el número de especies y donde se obtuvieron los registros (records) de los mismos.

Los resultados se descargaron en una hoja de cálculo utilizando Microsoft Excel, arrojando información como, coordenadas geográficas de donde se colectó el espécimen, en qué Estado de la República Mexicana, quién realizó la colecta, datos fenológicos etc., estando los datos listos para usarse, ya que requerimos que los grados de los puntos de muestreo se encuentren en un formato decimal. En los casos en que las coordenadas geográficas se encontraron en diferente proyección, se transformaron a formato decimal.

Para la base de datos de REMIB, se seleccionaron los herbarios que no se repitieran con los de la base de datos de SEINet, de los cuales se podrían seleccionar los Herbarios de: Universidad de Sonora (USON) en el DICTUS, Herbario XAL del Instituto de Ecología, A.C., México (IE-XAL), Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México (ENCB, IPN), Herbario de la Universidad de Texas-Austin, EUA (LL, TEX), Herbario IEB del Instituto de Ecología México (IE-BAJÍO), Colección de Monocotiledóneas Mexicanas (UAM-I), Árboles y Arbustos Nativos para la Restauración Ecológica y Reforestación de México (IE-DF,UNAM), Herbario del CIBNOR, Flora Vasculare de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México (UABC), Herbario de la Universidad Autónoma de Baja California, México (UABC), Ejemplares tipo de plantas vasculares del Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México (ENCB, IPN), Estudio Florístico de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México (ENCB, IPN), Estudio monográfico del género *Echinopepon* Naud. (Cucurbitaceae) en México (ENCB, IPN), Herbario de Geo. B. Hinton, México, Colección de ejemplares tipo del Herbario de la Universidad de Texas – Austin, EUA (LL, TEX), Colecciones de George Boole Hinton depositadas en el herbario de Kew: Familia Leguminosae y el género *Bursera* en México (IBUNAM) (REMIB, 2010).

Después de seleccionar los distintos herbarios se procedió a introducir los nombres de las familias. En el caso de esta base de datos no existe un filtro para determinar ciertas áreas de interés donde se puedan delimitar ciertas regiones con coordenadas geográficas, sino que solo da la opción de hacer filtro ya sea por país o nombre del estado (sólo para México) del que se desea obtener información. Se obtuvo la “Consulta distribuida” que arroja la información en una nueva página, encontrándose en orden con los diversos herbarios y



estando todos los datos (coordenadas de los puntos de muestreo, nombre de la especie, colector etc.) delimitados por comas. Los datos se seleccionaron de la misma página anterior manualmente, copiándolos y pegándolos en un procesador de textos (Microsoft Office, Word Pad, etc). Estando los datos en el procesador de textos se procedió a remplazar las “comas (,)” por un “Tab”, remplazando todo el archivo por completo. Posteriormente se seleccionó todo el texto copiándolo y “pegándolo como” “Texto Unicode sin Formato” en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. En este caso los datos no están listos para usarse, ya que se requiere que los puntos de muestreo se encuentren en un formato con punto decimal, procediendo a convertirlo a un formato decimal para los minutos y segundos, tanto las coordenadas latitudinales y longitudinales, realizando unas sencillas operaciones en hojas de cálculos para convertir minutos y segundos a punto decimal, se dividió el valor de los minutos entre (/) 60 y los segundos dividirlos entre 3600, multiplicándolos, dividiéndolos y posteriormente sumando los dos resultados. Por último los datos conjuntos de los minutos y segundos se le suman a los grados. A excepción de los datos longitudinales, ya que se deben de manejar con signo negativo (-), siendo datos negativos al oeste y positivos al este (Fernández, 2001).

Los puntos geográficos obtenidos de las bases de datos de SEINet y de REMIB se integraron en la misma hoja de cálculo, utilizando binomio para abreviar el género con la especie, tomando las dos primeras letras del género y las dos primeras letras de la especie. Si dos plantas se repiten sus binomios (ejemplo; *Acacia constricta*, Acco y *Acacia cochliacantha*, Acco) a una de las dos se les agregó una letra más en la especie (ejemplo *Acacia cochliacantha*, Accoc). Los datos de la longitud se colocaron antes de los datos de la latitud, para que los pudiera aceptar el Programa de MaxEnt; por último el formato se guardó como CVS (delimitado por comas).

### **VII.3. Modelos de Nicho**

Para la obtención de la distribución potencial de las especies se utilizó el modelo de nicho MaxEnt (Máxima entropía) que genera un modelo de distribución potencial a partir de variables ambientales y puntos geográficos (coordenadas) (Figura 3).

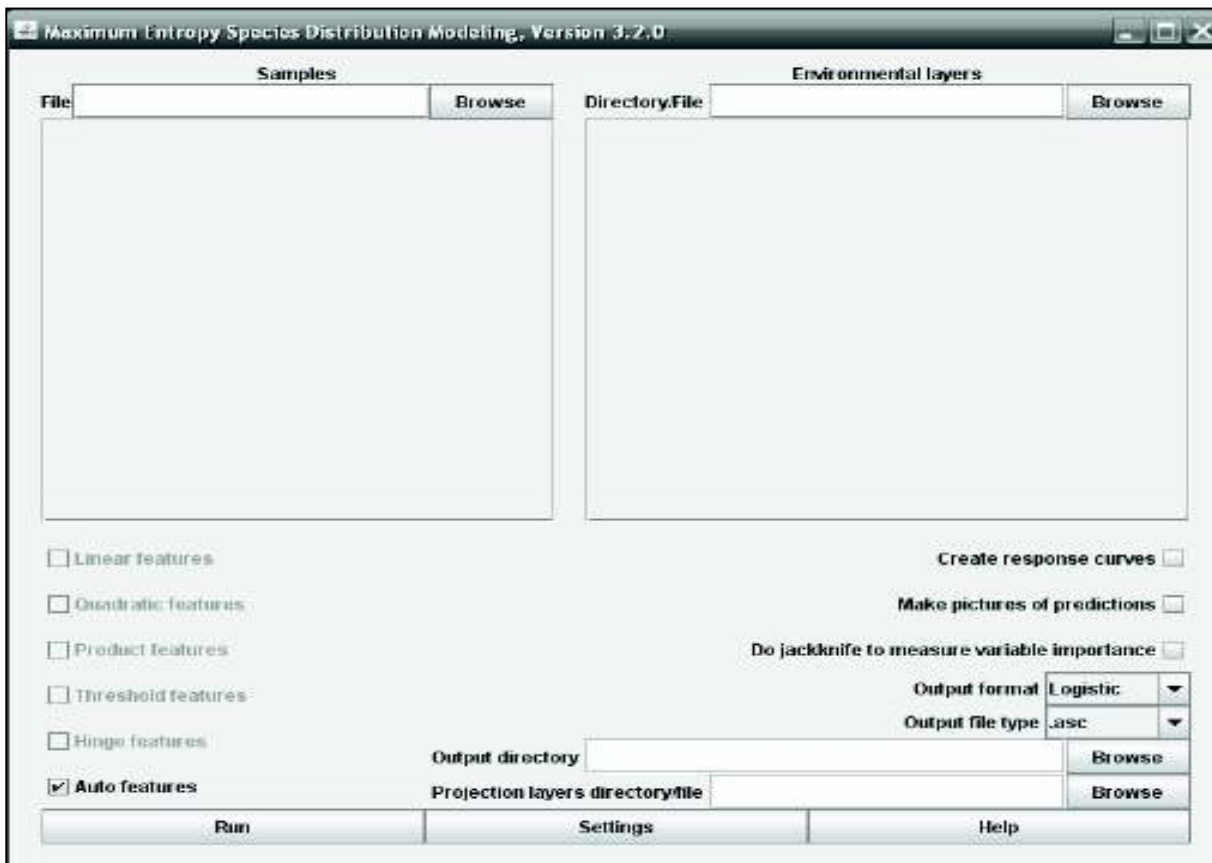


Figura 3. Ventana del programa MaxEnt. Fuente: Liras, 2008.

En la pestaña de muestras (samples) se especificaron los datos, se buscó el archivo donde se guardaron los puntos geográficos (coordenadas), en la misma ventana aparecieron las especies en el formato binomial.

El modelo utilizó variables ambientales (environmental layers) como precipitación, temperatura mínima del mes más frío, temperatura máxima del mes más caliente etc. Las capas con los datos para todo México fueron proporcionados por el Dr. Oswaldo Téllez, del Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, quien interpoló las capas ambientales para el país y para Sonora a partir de datos obtenidos de la base de datos de World Meteorological Organization, Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA e INEGI. Las capas climáticas proporcionadas por el Dr. Téllez consistieron de diecinueve variables (Tabla II).

Tabla II. Variables ambientales (capas climáticas) para el estado de Sonora y México, interpoladas por el Dr. Oswaldo Téllez, UNAM.

VARIABLES AMBIENTALES	SIGLAS
Temperatura promedio anual (°C)	TPA
Oscilación diurna de la temperatura	ODT
Isotermalidad (°C) (Cociente entre parámetros 2/7)	ISO
Estacionalidad de la temperatura (Coeficiente de variación, %)	ET
Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)	TMPPC
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	TMPPF
Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5/6)	OAT
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	TPCLL
Temperatura promedio del cuatrimestre seco (°C)	TPCS
Temperatura promedio del cuatrimestre cálido (°C)	TPCC
Temperatura promedio del cuatrimestre frío (°C)	TPCF
Precipitación anual (mm)	PA
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	PPLL
Precipitación del periodo más seco (mm)	PPS
Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación, %)	EP
Precipitación del cuatrimestre lluvioso (mm)	PCLL
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	PCS
Precipitación del cuatrimestre cálido (mm)	PCC
Precipitación del cuatrimestre frío (mm)	PCF

El programa requirió especificar si la variable era continua o categórica, ya que las variables categóricas, son indicadas preferiblemente por valores (letras o palabras), al contrario de las variables continuas que son preferiblemente indicadas por números (Liras, 2008). Para el estudio se utilizaron las diecinueve variables continuas climáticas mencionadas anteriormente.

En el icono con el nombre configuración (settings), es donde se ajustaron diversas opciones, como por ejemplo “maximum entropy parameters” (parámetros), que es la opción donde se introduce el porcentaje, para que el programa realice el ajuste a partir de los puntos

geográficos, para realizar la prueba (Random test percentage) donde se introdujo un valor de 25 (%). Por último se dejó correr el programa.

El resultado del análisis del modelo de nicho son los mapas de la distribución potencial de cada especie, y una serie de gráficas y tablas para la validación del programa. Los mapas usan colores para indicar los sitios probables donde se pueden encontrar las condiciones adecuadas para la especie, el rojo indica una alta probabilidad de condiciones adecuadas para la especie, verde indica las condiciones típicas de aquéllos lugares donde la especie se encuentra, y sombras más tenues de azul indican una baja probabilidad de condiciones adecuadas (Phillips et al, 2006). Los puntos blancos en la gama de colores indican los puntos geográficos reales al igual que los puntos morados, pero a diferencia, estos últimos hacen referencia de los puntos geográficos con los que el programa realizó el ajuste en función al porcentaje para la realización de la prueba "Random test percentage"; donde se introdujo un valor de 25 (%) (Phillips et al, 2006).

Solo se utilizaron los gráficos ROC (curva operada por el receptor) (Figura 4) y las variables que tuvieron más peso para calcular la distribución potencial de las especies.

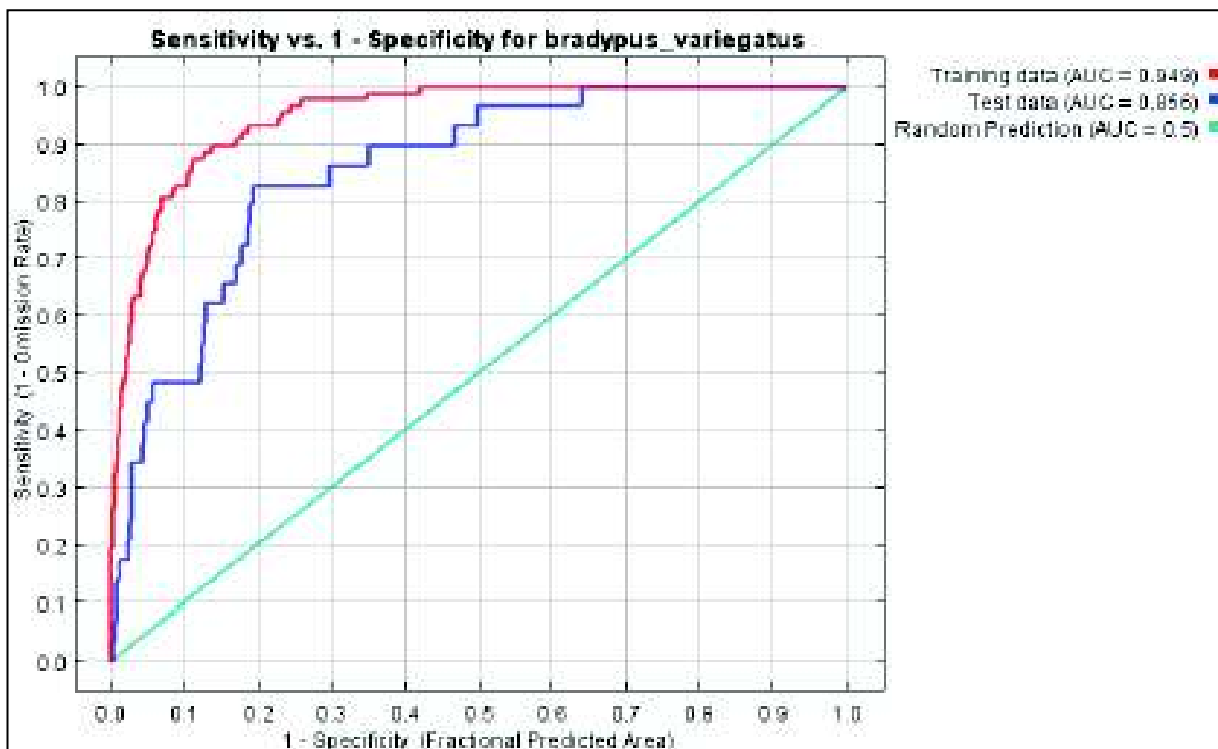


Figura 4. Curva operacional (curva ROC), para los 2 grupos de datos, el de prueba y la del entrenamiento. Fuente: Liras, 2008.

Los gráficos ROC muestran que tan idónea fue el área estimada de la distribución potencial de la especie, arrojando probabilidades que van del “0” al “1”, para conocer la confiabilidad de cada especie por separado. La curva roja (entrenamiento) representa el ajuste del modelo a los datos de muestreo. La curva azul (prueba) indica el grado de ajuste del modelo a los datos de prueba, y supone la prueba real del poder predictivo del modelo. La línea turquesa representa la línea esperada si el modelo fuera “por azar”. Si la curva azul (prueba) cae por debajo de la línea turquesa, indica que el modelo es peor que si se hubiese hecho al azar. Por el contrario, cuanto más se aproxime la curva azul a la esquina superior izquierda, mejor es el modelo para predecir las presencias de los datos utilizados como prueba del modelo (Phillips et al, 2006).

Para poder clasificar la idoneidad de la distribución potencial de la especie en base a su probabilidad fue mediante el gráfico ROC, donde se realizó este criterio:

Muy bueno por arriba de los 0.990, bueno 0.970 hasta 0.989 y regular por debajo de los 0.970.

Se tomaron las 3 primeras de las 19 variables ambientales que se utilizaron para crear los modelos, que mejor explican el modelo de cada especie. Estas variables son plasmadas en tablas donde arroja el porcentaje de cada variable ambiental que fue aportada para calcular la distribución potencial de la especie. Aquí es donde nosotros podemos darnos cuenta de los envolventes ambientales más importantes para la distribución potencial de la especie en el contexto geográfico. Pudiendo inferir en los requerimientos ambientales de cada especie, ya que en base a esta información se puede conocer más y entender varios aspectos ecológicos de las especies.

#### **VII.4. Catálogo de Especies de Zonas Áridas para Uso como Bioenergía**

Por último con toda la información obtenida se generó individualmente una amplia descripción de las especies que fueron seleccionadas ya que poseen potencial para bioenergía o biocombustibles. Las descripciones constan en el acopiamiento de toda la información que se generó en este trabajo, que van desde una amplia descripción taxonómica, fenológica, características ecofisiológicas, distribución actual basándonos principalmente en fuentes

bibliográficas y para calcular la distribución potencial mediante el método de máxima entropía (MaxEnt) para realizar modelos de nicho.

Todo el trabajo que se realizó al generar los modelos de nicho, se plasmó en el apartado de distribución potencial, donde se muestra un mapa en donde se puede encontrar o establecer una especie, acompañado de un breve escrito explicando en que estados de la República mexicana pueden ubicarse las especies estudiadas. La validación del modelo plasma que tan idóneamente fue calculada la distribución de la especie en base a la probabilidad dentro de un intervalo de 0 a 1 en % aunado al número de coordenadas geográfica (puntos geográficos).

El catálogo de especies integra la información de una forma sintética, que es de utilidad no solo para consulta de especies que puedan ser útiles para bioenergía o biocombustibles en base a su distribución potencial, para poder ser aprovechadas en forma de producción agronómica si no también en procesos de aprovechamiento basados en su distribución con fines de colecta o forma de restauración de terrenos degradados.

## VIII. RESULTADOS

### VIII.1. Criterios para Selección de Especies

Con base en los criterios de búsqueda bibliográfica y los resultados conjuntos obtenidos por el personal del Laboratorio de Ecofisiología Vegetal-DICTUS en la Universidad de Sonora, se seleccionaron las especies de plantas para conocer su distribución potencial con fines bioenergéticas (Tabla III). Las especies pueden ser aprovechadas no nada más en forma de producción agronómica si no también en procesos de aprovechamiento basados en su distribución potencial con fines de colecta o restauración de terrenos degradados.

Tabla III. Lista de especies seleccionadas.

FAMILIAS	ESPECIES
Amaranthaceae	<i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats
Asteraceae	<i>Helianthus annuus</i> L. <i>Encelia farinosa</i> A. Gray ex Torr
Burseraceae	<i>Bursera laxiflora</i> S. Watson
Chenopodiaceae	<i>Salicornia bigelovii</i> L.
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita digitata</i> A. Gray <i>Cucurbita foetidissima</i> Kunth <i>Ibervillea sonora</i> (S. Watson) Green
Euphorbiaceae	<i>Jatropha cardiophylla</i> (Torr.) Mull. Arg <i>Jatropha cinérea</i> (Ortega) Mull. Arg <i>Jatropha cordata</i> Müll. Arg
Fabaceae	<i>Olneya tesota</i> A. Gray <i>Prosopis velutina</i> Woot
Simmondsiaceae	<i>Simmondsia chinensis</i> (Link) Schneider

Otras especies que se tratan de implementar para cultivos en zonas áridas o semiáridas; son *Jatropha curcas* y *Ricinus communis*, utilizado en este trabajo con fines comparativos.

## **VII.2. Bases de Datos**

Los datos arrojados por las bases de datos de SEINet y REMIB para obtener los puntos geográficos de cada una de las especies dentro de las 8 Familias de plantas fueron innumerables, la búsqueda que se realizó fue tanto para las zonas áridas del país, y en el caso de varias especies para las zonas donde los SIG mostraron escasa vegetación, pudiendo ser ampliar la distribución de las especies, pero prioritariamente se restringieron los datos a estas zonas, ya que son las de interés.

## **VII.3. Modelos de Nicho**

Se obtuvo la distribución potencial de las 16 especies, incluidas *Jatropha curcas* y *Ricinus communis* que no son especies de zonas áridas o semiáridas; pero algunos autores y productores consideran que pueden ser factibles para cultivarse en estas regiones del país. Los modelos de nicho generados se integraron al catálogo de especies de zonas áridas para uso posible como bioenergía, analizando la probabilidad de distribución potencial así como también señalar que modelo de nicho fue generado con mayor confiabilidad en base al gráfico de la curva (ROC), además se analizaron las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución potencial de la especie.

El criterio que se utilizó para poder clasificar la idoneidad de la probabilidad de la distribución potencial de la especie mediante el gráfico ROC, (muy bueno por arriba de los 0.990, bueno 0.970 hasta 0.989 y regular por debajo de los 0.970) fue para evaluar mis modelos ya que en base a bibliografía por encima de los 0.900 es un muy buen modelado, de 0.900 a 0.700 es buen modelado y de 0.700 a 0.500 es mal modelado (Liras, 2008).



## VII.4. Catálogo de Especies de Zonas Áridas con Posible Uso para Bioenergía

### VII.4.1. Familia Amaranthaceae

#### VII.4.1.1. *Amaranthus palmeri* S. Wats



Figura 5. Inflorescencia terminal de quelite (*A. palmeri*). Fuente: Mark A. Dimmitt.

Descripción taxonómica.- Hierba anual a veces perenne (Martin et al., 1998), dioica, glabra, erecta, de 20 cm hasta 2 metros de altura (Kearney et al., 1960; Mondragón, 2009). Las hojas son alternas lanceoladas a ovadas, con pecíolo de 10-90 mm (Shreve et al., 1964; SEINet, 2010). Las brácteas regularmente lanceoladas y escariosas en espigas terminales (SEINet, 2010). Inflorescencia terminales que pueden alcanzar hasta 0.5 m de longitud, solitarias o axilares a la base. Flores pequeñas, apétalas con cinco sépalos (Wiggins, 1980; SEINet, 2010), las brácteas masculinas miden 2.5-5 mm (SEINet, 2010). Fruto subgloboso, rugoso de 1.5 mm de longitud (Shreve et al., 1964). Las semillas son lenticular (redonda y comprimida), algo alargada, de 0.8-1.4 mm de ancho y de 1 a 1.4 mm de diámetro (Wiggins, 1980; Mondragón, 2009), de color rojo-marrón brillante (SEINet, 2010), con alta producción de semillas en un ciclo de vida (Kearney et al., 1960; Stanley et al., 2006).

Fenología.- Se le encuentra desde agosto hasta noviembre (Wiggins, 1980; SEINet, 2010), su floración y fructificación es de rápido crecimiento (León et al., 1996).

Características ecofisiológicas.- Planta anual C4 de verano (Ehleringer, 1983) que se encuentra distribuida en regiones con condiciones de sequía. Suele ser resistente al estrés hídrico sin que ocurra una disminución significativa en el proceso fotosintético (Tezara et al, 2010), pero en respuesta a un ciclo de sequía a largo plazo tanto la tasa fotosintética y la conductancia estomática disminuyen, al igual que el potencial hídrico foliar. Presenta en las hojas movimientos heliotrópicos, lo que le permite tomar ventajas de su alta capacidad fotosintética (Ehleringer, 1983).

Distribución actual.- Esta planta es originaria del suroeste de Estados Unidos hasta México, contando con una distribución secundaria en Europa (Mondragón, 2009). En México se distribuye en Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas (Mondragón, 2009). Se les puede encontrar en bordes de caminos zanjas, campos, arroyos a menos de 1200 msnm (Wiggins, 1980).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se observa en el mapa (Figura 6), mostrando la distribución potencial de la especie (alta = rojo; baja = azul).

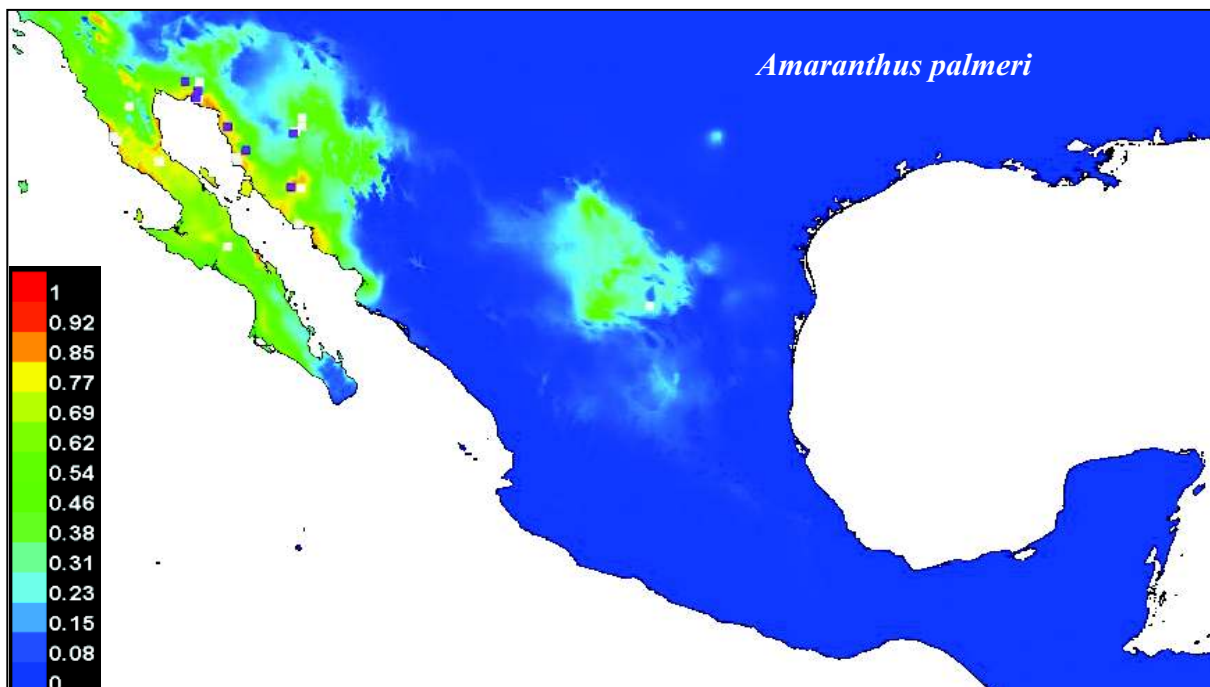


Figura 6. Distribución potencial de *Amaranthus palmeri* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie se da en el noroeste del país, principalmente en el litoral de Sonora, Baja California y Baja California Sur, disminuyendo su probabilidad en los mismos estados hacia el interior, y en una porción del desierto Chihuahuense en los estados de Coahuila y Nuevo León.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.953%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada regularmente, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, contando con 90 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. En la parte del desierto Chihuahuense el modelo está sobreestimando esta distribución, ya que hay un punto geográfico en Nuevo León y la predicción es generada en base a la máxima entropía de las variables ambientales de todos los puntos.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. *Amaranthus palmeri*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	35
Precipitación anual (mm)	13.8
Estacionalidad de la precipitación	12.8

Esto nos dice que las variables de precipitación anual y estacionalidad de la precipitación, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la precipitación del cuatrimestre seco, es la variable ambiental que mayor interviene en el porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

## VII.4.2. Familia Asteraceae

### VII.4.2.1. *Encelia farinosa* A. Gray ex Torr



Figura 7. Floración de rama blanca (*E. farinosa*). Fuente: Max Licher.

Descripción taxonómica.- Arbusto perenne, dioico de más de 1.5 m (Turner et al., 1995), con varios troncos con savia perfumada, los tallos jóvenes con pubescencias y al pasar el tiempo suele ser glabra su corteza (Jepson Herbarium, 2006; SEINet, 2010). Hojas agrupadas cerca de las puntas del tallo muy ramificadas, dispuestas de una forma alterna, con un tamaño de 2-7 cm, y pecíolos de 10-20 mm, (Turner et al., 1995; Jepson Herbarium, 2006) de forma ovadas o lanceoladas, obtusas o agudas, de color verde a gris, en general hoja caduca con la sequía (Tesky, 1993). Inflorescencias principal en forma de panículas, cada uno se asemeja a una flor, de aproximadamente 2 cm (Turner et al., 1995), pedunculadas de color amarillo, glabras excepto justo por debajo de las cabezas, son liguladas de 8-12 mm, corola de 5-6 mm de color marrón, garganta delgada amarilla, lóbulos triangulares, anteras ovadas (SEINet, 2010). Frutos en aquenios de 3-6 mm, fuertemente comprimido en forma obovada (SEINet, 2010; Tesky, 1993).

Fenología.- Empieza a florecer desde marzo hasta mayo (Jepson Herbarium, 2006).

Características ecofisiológicas.- Es una planta de larga duración, puede vivir hasta 32 años, sus raíces son poco profundas, se compone de una fuerte raíz pivotante y numerosas raíces laterales filamentosas (Brown et al., 1986). Son intolerantes a las heladas, ya que pueden dañar las hojas y tallos. Cuenta con propiedades alelopáticas, produciendo una sustancia tóxica soluble en agua que inhibe el crecimiento de malezas anuales de invierno. Su establecimiento se limita a climas con largos períodos de sequía, siendo uno de los primeros colonizadores de sitios perturbados (Tesky, 1993). Las hojas muestran una variación estacional en la densidad de pubescencias y el grosor, ya que durante los tiempos de disponibilidad de agua, las hojas son más grandes y menos pubescentes, siendo menos capaces de reducir la pérdida de agua, invirtiéndose estas características a medida que disminuye la humedad del suelo (Turner et al., 1995; Tesky, 1993), cuando las hojas son más gruesas, muy pubescentes pueden reflejar hasta en un 70% la radiación solar reduciendo las tasas de transpiración (Turner et al., 1995).

Distribución actual.- Se distribuye en el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos (Tesky, 1993). Se encuentra desde el matorral costeros hasta laderas secas pedregosas (SEINet, 2010), en el desierto de Sonora es común encontrarlas en las laderas graníticas, chalets de montaña y llanuras aluviales (Tesky, 1993), hasta los 1,000 msnm (SEINet, 2010).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho se observa en el mapa (Figura 8).

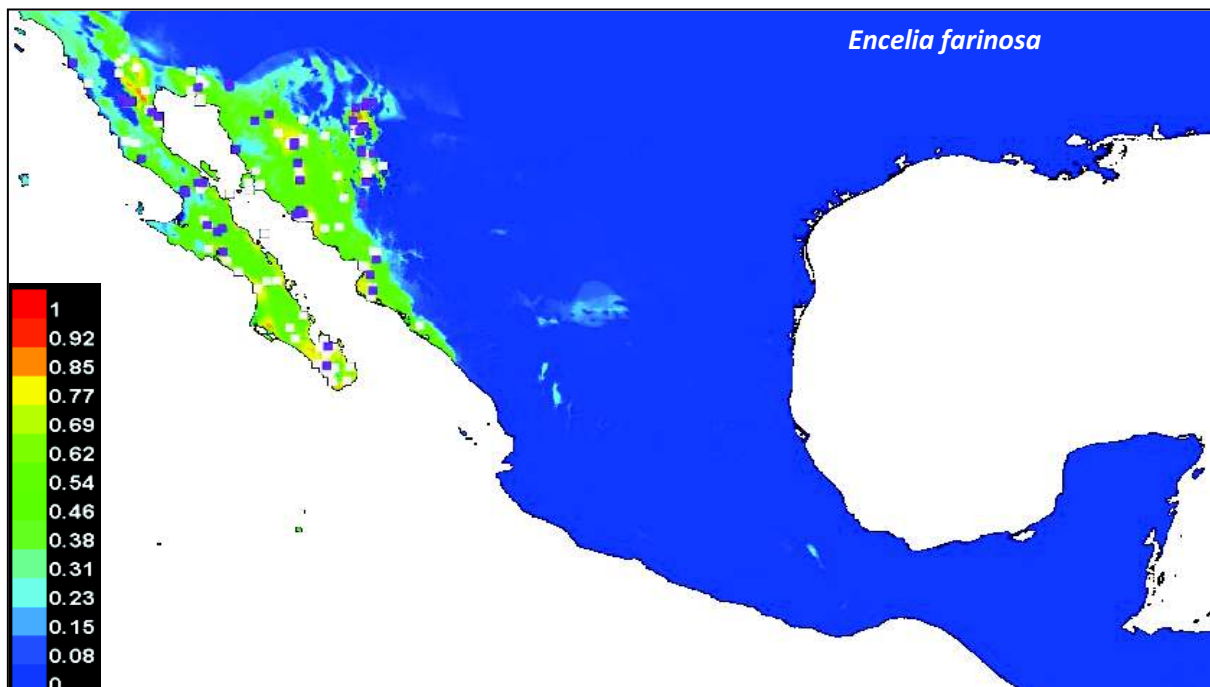


Figura 8. Distribución potencial de *Encelia farinosa* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie se da en el noroeste del País, con una distribución muy amplia en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora y norte de Sinaloa, con mayor probabilidad de encontrarse la especie es en una porción pequeña en el noreste de Baja California hacia los límites con el estado de Sonora.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra una probabilidad del 0.982% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados fueron 217 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. Esta planta en base al modelo es más restringida a las zonas áridas del noroeste de la República, siendo estimada la distribución idóneamente, ya que los puntos geográficos suelen estar en el noroeste del país.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla V.

Tabla V. *Encelia farinosa*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación anual (mm)	29.7
Temperatura promedio del cuatrimestre seco	27
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	17.3

Esto nos dice que las variables temperatura promedio del cuatrimestre seco y precipitación del cuatrimestre seco (mm), ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero precipitación anual, es la variable ambiental que interviene en un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie de las 19 utilizadas.

#### VII.4.2.2 *Helianthus annuus* L.



Figura 9. Inflorescencias de girasol (*H. annuus*). Fuente: Alejandro Castellanos.

Descripción taxonómica.- Hierba anual, monoica de hasta 3 m de altura, con tallos erectos y pubescentes (Martínez, 1969; Mondragón et al., 2009; SEINet, 2010). Hojas opuestas de 10-40 cm, escabrosas, deltoides, con base cordada con puntas obtusas y margen aserrado, los pecíolos son largos, (Martínez, 1969; SEINet, 2010). Las hojas inferiores del tallo de esta especie son opuestas en su mayoría, pero se convierten rápidamente en alternas para el resto de la longitud del tallo (Mondragón et al., 2009). Inflorescencia aguda, cada una se asemeja a una flor, pedúnculos de 2-20 cm, lanceoladas a ovadas, abruptamente acuminados, de glabros a ásperos, generalmente ciliado. Las flores son amarillas, con corolas de 5-8 mm (Gómez, 1989), los lóbulos de color rojo a amarillo, la base de la garganta a menudo hinchada, lóbulos y apéndices triangulares. El fruto es un aquenio de 3-15 mm, oblanceolados a obovados, poco comprimidos, bordes redondeados (Mondragón et al., 2009; SEINet, 2010).

Fenología.- Floración de julio a octubre y en ciertas regiones se extiende hasta el mes de noviembre (SEINet, 2010).

Características ecofisiológicas.- Se adapta bien a los sitios con sequías, ya que cuenta con un sistema radicular de más de hasta 3 m, ocasionando muerte en raíces con un exceso de agua (Hernández et al, 1994; García-Panela, 2007), siendo esta característica lo que le ha permitido tener éxito en sitios donde el agua es un factor limitante (Gómez, 1989). Su alto grado de plasticidad de componentes vegetativos y reproductivos, permiten que la planta pueda garantizar una mayor y más eficiente intercepción de la radiación solar. Realiza cambios en su arquitectura, logrando cambios en la ramificación, longitud de los peciolos, tamaño, forma, inclinación, disposición espacial y números de las hojas (Hernández et al, 1994), lo que le ha permitido establecerse en otras zonas fuera de su distribución original (Gómez, 1989; García-Panela, 2007).

Distribución actual.- Es originaria del centro y sur de Estados Unidos, distribuyéndose hacia el norte de México (García-Panela, 2007). Se distribuye en matorrales, también en zonas alteradas, y otros hábitats (SEINet, 2010) así como márgenes de carreteras y vías de ferrocarril con grandes poblaciones (Mondragón et al., 2009), encontrándose en alturas menores a los 1900 msnm (SEINet, 2010).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 10).

Se observa que la especie puede tener una distribución potencial fuera de los márgenes de las zonas áridas. Mostrándose en la imagen que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en el norte del País, principalmente hacia el noroeste del País, en el sur de Sonora y norte de Sinaloa y en el noreste del País desde Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí.



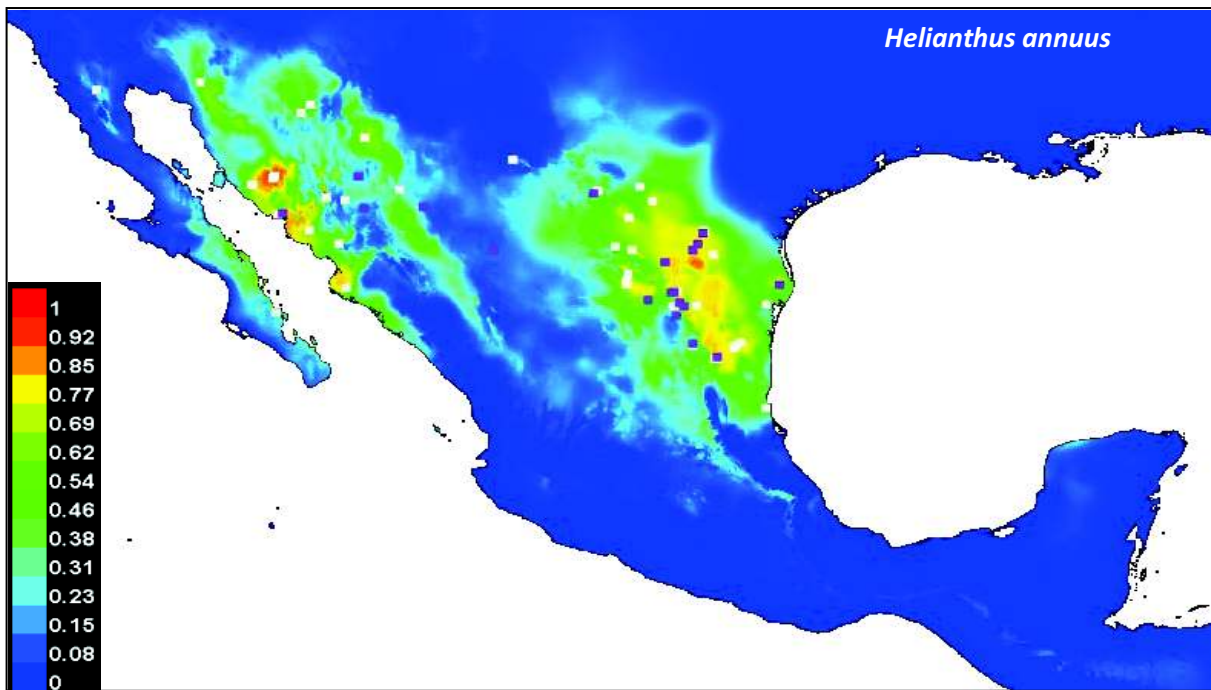


Figura 10. Distribución potencial de *Helianthus annuus* mediante modelo de nicho.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.953% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada regularmente, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB contaron con 73 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La evaluación suele ser regular, ya que el modelo se extiende mucho para hacer la predicción, pero claramente se puede observar en el mapa que las variables ambientales restringen la distribución a las zonas áridas y semiáridas.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. *Helianthus annuus*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Oscilación diurna de la temperatura	36.6
Precipitación del periodo más seco (mm)	17.1
Estacionalidad de la precipitación	11.9

Esto nos dice que las variables precipitación del periodo más seco y estacionalidad de la precipitación, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la oscilación diurna de la temperatura, es la variable ambiental que interviene en un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

### VII.4.3. Familia Burseraceae

#### VII.4.3.1. *Bursera laxiflora* S.Watson



Figura 11. Hojas y fruto del torote prieto (*B. laxiflora*). Fuente: Jesús Sánchez, 2005.

Descripción taxonómica.- Árbol perenne, dioico, de hoja caduca, con una altura por lo regular de 3-4 m (Turner et al., 1995), llegando en ocasiones a medir hasta 10 m de alto (Turner et al., 1995; Martin et al., 1998), con savia fragante, el tronco es grueso con una forma de crecimiento amplio, la corteza es lisa sin ser exfoliante de color gris opaco (Martin et al., 1998; Wilder et al., 2008). Delgadas ramas lobuladas (Arizona-Sonora Desert Museum, 2006) sin hojas en las época de sequía de color marrón rojizo (Arizona-Sonora Desert Museum, 2006). Las hojas son pinnadas dentadas de 1-12 cm de largo (Turner et al., 1995). Las flores están dispuestas en inflorescencias, son pequeñas, actinomorfas de menos de 1 cm, siendo poco visibles en los pedicelos delgados. Los frutos son drupas ovoides de hasta 1 cm de largo con una única semilla (Turner et al., 1995) parcial o totalmente cubierto por una capa de color rojo (Becerra et al., 1999; Yetman, 2002).

Fenología.- La floración es en los meses de junio hasta agosto (por lo regular en la temporada de lluvias de verano) (Turner et al., 1995; Rzedowski, 2000). La germinación de semillas es en un tiempo de 2 semanas después de las lluvias (Turner et al., 1995; Wilder et al., 2008).

Características ecofisiológicas.- Es un árbol de hoja caduca en tiempos de sequía (Wilder et al., 2008), es característico del matorral espinoso, encontrándose en el desierto donde las precipitaciones de verano son suficientes para sobrevivir y las temperaturas invernales no son limitantes (Turner et al., 1995). A diferencia de otras especies de *Bursera*, esta especie responde a lluvias importantes en cualquier época del año con proliferación rápida de hojas (Arizona-Sonora Desert Museum, 2006). La savia perfumada son secreciones y exudados de terpenoides, que se derivan de un sistema de canales de resina en la corteza del tronco y en las hojas que les proporcionan defensa química contra los herbívoros especializados (Becerra et al., 1999).

Distribución actual.- La especie se encuentra desde el suroeste de Estados Unidos hasta Perú, alcanzando su máxima diversidad en litoral del pacífico de México (Rzedowski, 2000). Se distribuye principalmente en Sonora, con extensiones a Sinaloa, Baja California Sur y Chihuahua (Rzedowski, 2000). Puede vivir sobre laderas rocosa (Martin et al., 1998), se encuentra en elevaciones que van casi desde el nivel del mar hasta los 1205 m de altitud, encontrándose en sitios que van desde interiores de montañas hasta las elevaciones más altas de cerros (Wilder et al., 2008).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se observa en la Figura 12.

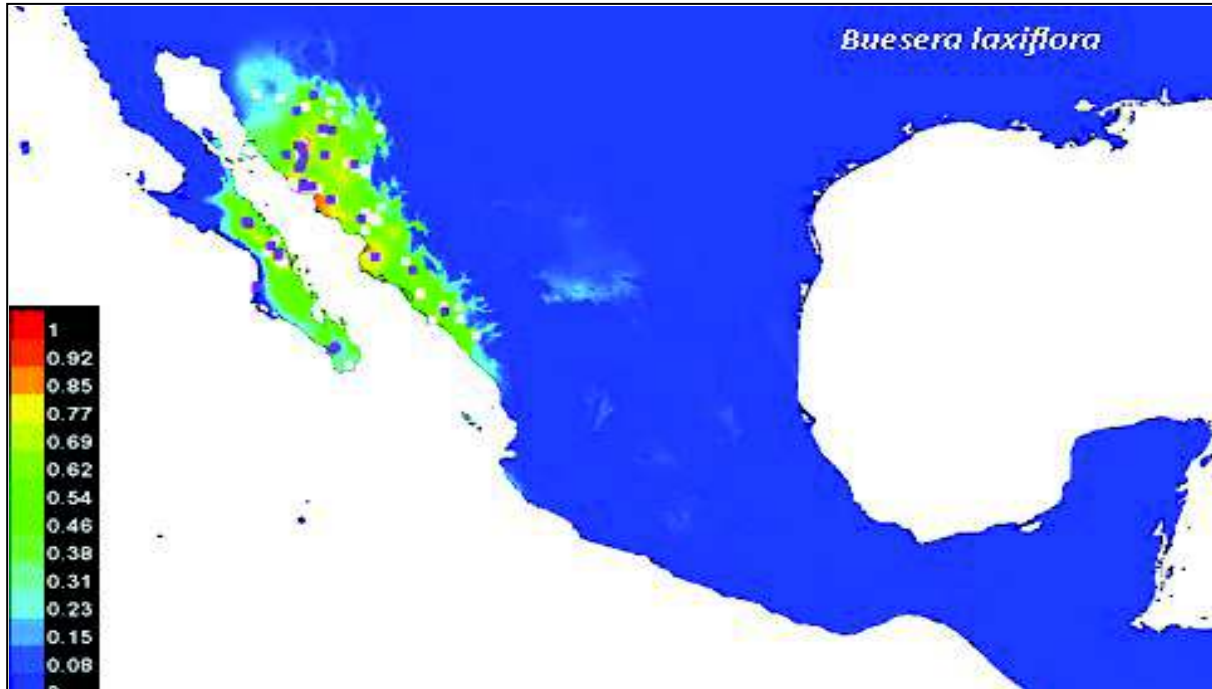


Figura 12. Distribución potencial de *Buesera laxiflora* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en los estados de Baja California Sur, Sonora y Sinaloa. Distribuyéndose más ampliamente en Sonora, excepto en la región norte y noroeste y las altas elevaciones del sistema montañoso de la Sierra Madre Occidental, con mayor probabilidad de que se encuentre la especie en el sur del estado y el norte de Sinaloa.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que la probabilidad de idoneidad del modelo fue de 0.980%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue bien modelada. El número de datos depurados utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB fueron de 137 registros geográficos. A pesar del número de puntos geográficos, la probabilidad no fue muy bien modelada en base a mi criterio, ya que tendió a bajar por la amplia distribución de los puntos geográficos distribuidos en los estados de Sonora, Baja California Sur y Sinaloa.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla VII.

Tabla VII. *Bursera laxiflora*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Estacionalidad de la precipitación (mm)	30.4
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	21.9
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	16.1

Esto nos dice que las variables precipitación del cuatrimestre seco y temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso, ayuda a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la estacionalidad de la precipitación es la variable que interviene en un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie de las 19 utilizadas.

#### VII.4.4. Familia Chenopodiaceae

##### VII.4.4.1. *Salicornia bigelovii* L.

Descripción taxonómica.- Hierba halófila, anual con tallos suculentos y carentes de hojas (Wiggins, 1980). Los tallos son erectos, verde a veces se tornan de un color rojizo (SEINet, 2010). Una planta desarrollada presenta ramas simples suculentas, de 5-60 cm brotando del tallo principal, en forma articulada y erecta. La flor es central semicircular de hasta 2 cm, (SEINet, 2010), encontrándose entre cada entrenudo (Troyo-Diéguez et al., 1994). Regularmente cada planta produce seis flores con sépalos verdes y suculentos, dispuestas en dos grupos de tres flores. La producción de semillas promedio es de 2 a 3 en cada fruto (Troyo-Diéguez et al., 1994; Rueda-Puente, 2003; Wilde, 2008).



Figura 13. Planta pequeña de espárrago de mar (*S. bigelovii*). Fuente: Anna Armitage 2007.

Fenología.- El ciclo de vida oscila de 10 a 12 meses, con inicio de la floración a finales del verano y principios de otoño (SEINet, 2010), en áreas costeras de Baja California Sur el período de inicio de floración ocurre desde inicios de marzo hasta mayo, llegando a su madurez en los meses de octubre a diciembre (Wiggins, 1980). Se reporta hasta la fecha los meses de marzo a agosto como la estación de máximo crecimiento (Troyo-Diéguez et al., 1994; Graham et al., 2002). La producción de semilla es a finales de verano y durante el otoño (Troyo-Diéguez et al., 1994; Graham et al., 2002; Rueda-Puente, 2003; Wilder et al, 2008).

Características ecofisiológicas.- Es una planta con muy altas tasas de colonización (Graham et al., 2002), produciendo en poco tiempo grandes cantidades de biomasa, debido a que sus ramas y tallos pueden realizar grandes rendimientos fotosintéticos (Troyo- Diéguez et al., 1994). Sus brotes son más grandes y suculentos cuando crecen en ambientes muy salinos, desarrollándose en un amplio rango de concentraciones de  $\text{Na}^+$  de 100-400 ppm de NaCl (Graham et al., 2002), siendo clasificada como una halófila facultativa, (Rueda-Puente, 2003). Absorben y mantienen grandes cantidades de sales mediante el proceso de regulación

osmótica y el almacenamiento de sales en sus tejidos (Graham et al., 2002; Rueda-Puente, 2003). Otra vía de tolerancia a las sales es mediante el control a nivel radicular del paso de iones de sodio, excluyendo iones sodio a nivel foliar por medio de sistemas especializados (glándulas de excreción) y adicionalmente el secuestro de iones tóxicos a nivel vacuolar (Rueda-Puente, 2003).

Distribución actual.- Se encuentra distribuida en el norte de América, en las costas del Océano Pacífico de Estados Unidos hasta la península de Baja California de la república mexicana (Troyo-Diéguez et al., 1994; Rueda-Puente, 2003), es común que también se desarrolle a lo largo de las costas del Golfo de México (Troyo- Diéguez et al., 1994), se han encontrado varios ejemplares en la isla del Tiburón en el Estado de Sonora, e inclusive por debajo de los manglares o sumergida en la pleamar (Wilder et al, 2008), y en general con amplia distribución en suelos salitrosos y hábitats en zonas costeras, donde el agua de mar constituye el principal recurso hídrico (Troyo-Diéguez et al., 1994).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 14), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

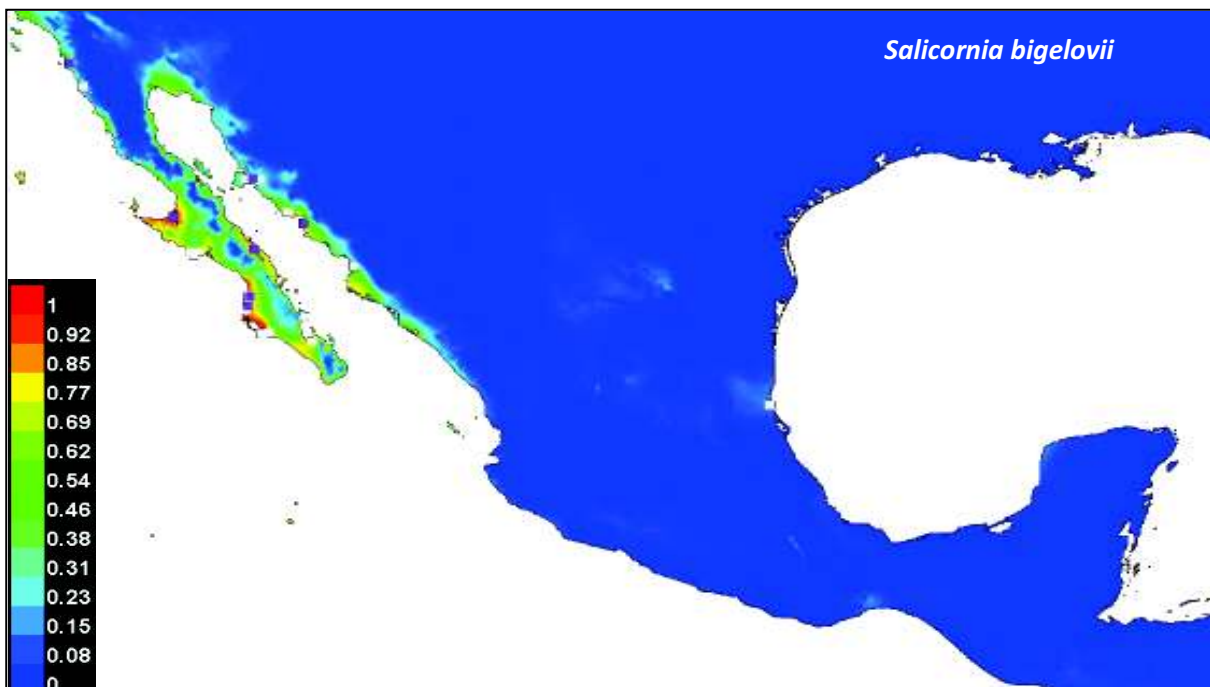


Figura 14. Distribución potencial de *Salicornia bigelovii* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en el estado de Baja California Sur hacia el oeste en la Costa del Pacífico hacia el norte y por debajo de la región central, y en menor probabilidad en la parte central pero hacia el este del Estado en el Golfo de California. Existiendo posibilidad de que exista la especie en las costas del Estado de Sonora y la parte noroeste de Sinaloa.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.991% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada muy bien. Los datos que se corrieron en el programa fueron de 47 registros geográficos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada de una forma muy idónea, influyendo en mayor medida que la alta probabilidad de dichos puntos estuvieran cercanos entre sí, ya que si uno de esos puntos hubiera estado muy alejado de ellos, bajaría la probabilidad ya que se estuviera sobreestimando la distribución entre esas dos regiones.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución potencial de la especie se muestran en la tabla VIII.

Tabla VIII. *Salicornia bigelovii*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación del periodo más seco (mm)	32.1
Precipitación anual (mm)	31
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	28.7

Esto nos dice que las variables precipitación del periodo más seco y precipitación anual, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso, es la variable ambiental que interviene en un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.



## VII.4.5. Familia Cucurbitaceae

### VII.4.5.1. *Cucurbita digitata* A. Gray



Figura 15. Hojas de calabaza pepo (*C. digitata*). Fuente: A. Castellanos Villegas.

Descripción taxonómica.- Hierba perenne, monoica, rastrera postrada con una raíz profunda, tuberosa (Shreve et al., 1964; Wiggins, 1980). Tallos delgados, escabrosos, con costillas blanquecinas, los zarcillos son muy cortos (Dimmitt, 2000; SEINet, 2010). Hojas palmeadas escabrosas y pubescentes, delgadas de 3-9 cm, divididas en 5 lóbulos muy delgados casi hasta el pecíolo, linear a linear-lanceolada con los dos lóbulos laterales generalmente dentados (Dimmitt, 2000), de color verde obscuras, con pecíolos acanalados y escabrosos de 4-7.5 cm de longitud. Sus flores son solitarias (Wiggins, 1980), de 4-6 cm de largo, de color amarillo, el cáliz es cilíndrico a campanulado (Wiggins, 1980; SEINet, 2010) estrecho, lóbulos subulados, corola escasamente hispida (Shreve et al., 1964). Después de su fecundación se forma un fruto de 7-8 cm de ancho, es un pepo (SEINet, 2010), globoso ligeramente deprimido, de color verde-oscuro (Shreve et al., 1964; Lira et al., 2006) con bandas blancas bien definidas (Lira et al., 2006). Las semillas son ovales, de color blanco de 10-11 mm de largo (Shreve et al., 1964) por 7-8 mm de ancho, con bordes gruesos y obtusos (Shreve et al., 1964).

Fenología.- El crecimiento vegetativo inicia desde marzo-abril hasta octubre y la floración ocurre entre agosto y octubre, aunque en algunos lugares del noroeste de México puede presentarse desde junio (Tenaglia, 2007). La especie fructifica poco después de la floración hasta noviembre-diciembre dentro del desierto Sonorense (Dimmitt, 2000).

Características ecofisiológicas.- La especie se encuentra en climas montanos, matorrales desérticos micrófilos o crasicales, mezquitales y selvas bajas caducifolias; con temperaturas que van desde cálidos, semicálidos o templados; distribuyéndose aun en zonas áridas o muy áridas, con periodos de sequía mayores a 20 meses, adaptándose muy bien a zonas con estrés hídrico ya que poseen tallos robustos y fuertes que permiten la acumulación y retención de agua (Lira et al., 2006).

Distribución actual.- La especie es originaria del noroeste de la república Mexicana (Dimmitt, 2000), principalmente distribuida en los estados de Baja California y Sonora (Shreve et al., 1964), ocupando diferentes hábitats dentro del desierto Sonorense, desde el noroeste del estado de Sonora, en lo que se considera el límite Oeste del desierto Chihuahuense. Habita en terraplenes de ferrocarril, bordes de caminos y campos (Tenaglia, 2007), encontrándose en aluviones de valles de arena y lava (Dimmitt, 2000).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se observa en la Figura 16.

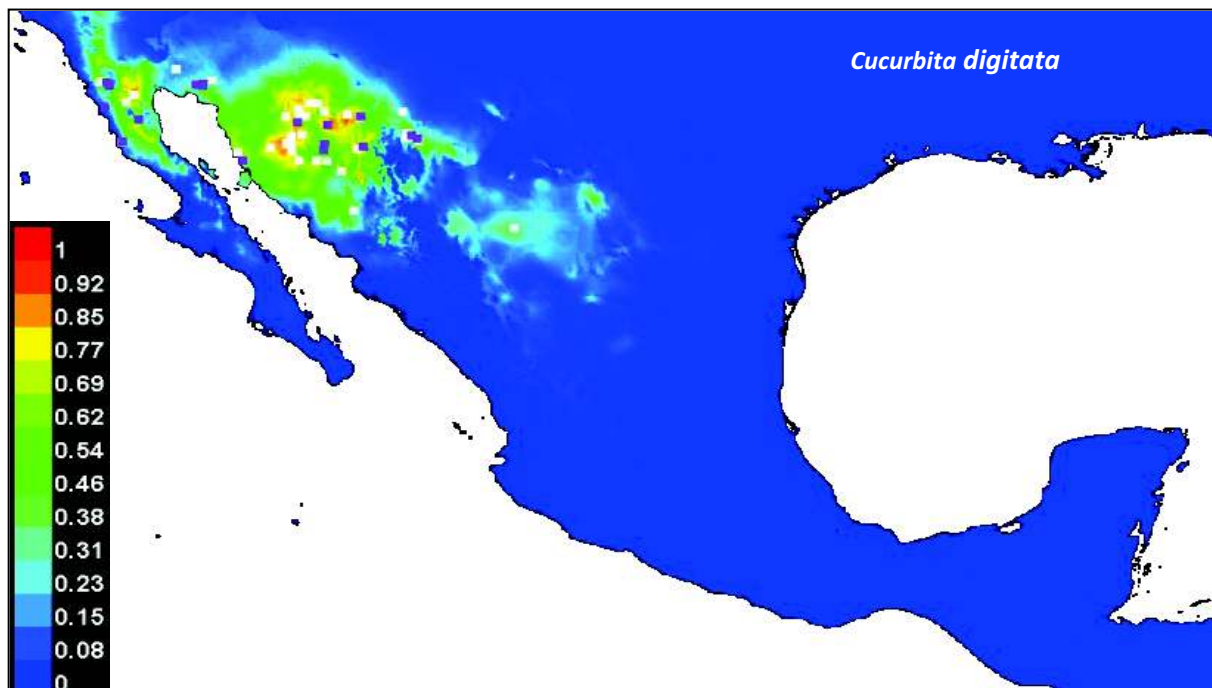


Figura 16. Distribución potencial de *Cucurbita digitata* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en el noroeste del País, en el Estados de Sonora se encuentra principalmente, distribuida en la región noreste y hacia la región central del mismo Estado, distribuyéndose en menor porción en el la región norte-centro de Baja California.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra la confiabilidad de la predicción hacia la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.978% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB contaron con 74 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. Lo que puede estar alterando la predicción es el punto geográfico que se encontró en el desierto Chihuahuense, tal vez una mala identificación, ocasionando que se sobrestime la distribución en estas zonas.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla X.

Tabla X. *Cucurbita digitata*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Oscilación diurna de la temperatura	31.3
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	22.6
Isotermalidad (°C) (Cociente entre parámetros 2/7)	18.1

Esto nos dice que las variables precipitación del cuatrimestre seco y isotermalidad, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la oscilación diurna de la temperatura, de las 19 variables utilizadas, es la variable ambiental que interviene en un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4.5.2. *Cucurbita foetidissima* Kunth



Figura 17. Hojas, flor y fruto de la calabacilla loca (*C. foetidissima*). Fuente: Susan Chenks 2008.

Descripción taxonómica.- Hierba perenne, monoica, con sabia perfumada de olor desagradable (Martin et al., 1998), tallos gruesos, escabrosos y decumbentes de hasta 6 m de largo con raíz tuberosa. Las hojas grandes y anchas de forma triangular-lanceoladas (Wiggins, 1980), por lo general dirigidas hacia arriba de 10-20 cm de largo, dispuestas en forma alterna de color verde- grisáceo con pubescencia blanca en el haz (SEINet, 2010), escabroso el envés y a largo de las venas (Hanan-Alipi et al., 2006). Los zarcillos son robustos, cortos, divididos en 3 a 5 ramas (SEINet, 2010), los pecíolos gruesos y escabrosos (Shreve et al., 1964). Las flores son solitarias amarillas de gran tamaño (Martin et al., 1998), con corola en forma de campana (SEINet, 2010), unisexuales sobre pedúnculos cortos (Hanan-Alipi et al., 2006). El fruto es un pepo depresso-globoso de 6 a 8 cm de alto, verde oscuro con rallas blanquecinas (Shreve et al., 1964) volviéndose amarillentas al madurar y la pulpa es fibrosa (Hanan-Alipi et al., 2006). Las semillas son abundantes, oblongo-ovadas de aproximadamente 12 mm de largo y 6-7 mm de ancho con los márgenes obtusos (Shreve et al., 1964; Hanan-Alipi et al., 2006).

Fenología.- La fenología a lo largo de su rango de distribución es variable, pero en general se señala que su crecimiento ocurre entre los meses de marzo a octubre para el desierto Sonorense y de abril a noviembre en el desierto Chihuahuense (Castellanos, 1980). Su períodos de floración ocurren entre junio y agosto mientras que su fructificación ocurre poco después, entre los meses de agosto y octubre (Castellanos 1980; Hanan-Alipi et al., 2006).

Características ecofisiológicas.- La especie se ha adaptado a vivir en condiciones xéricas (Castellanos, 1980, Vasconcellos et al, 1981). La raíz es carnosa con gran capacidad de almacenamiento de agua, que contiene además alrededor del 16% de almidón. Son sensibles y pueden morir los tallos y ramas a temperaturas inferiores a 0 °C, pero las raíces pueden sobrevivir a temperaturas tan bajas como -25 °C (Vasconcellos et al, 1981). Crecen en sitios con bajas precipitaciones (SEINet, 2010) desarrollándose en condiciones estresantes de sequia y aridez extrema durante el verano, beneficiándose del sistema radicular para aprovechar los pulsos de agua para continuar con su crecimiento. Contiene glucósidos, saponina y espuma lo que lo hace una especie con un olor desagradable (SEINet, 2010), conteniendo en las semillas de 30-40% de aceite y proteínas (Vasconcellos et al, 1981). Se adaptan a vivir en los montones de basura cerca de asentamientos humanos.

Distribución actual.- Se distribuye en zonas áridas y semiáridas de Norte América (Vasconcellos et al, 1981), en particular en la porción central de los Estados Unidos (Hanan-Alipi et al., 2006). En México se encuentra en el desierto Chihuahuense desde los estados de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y Sonora entre otros. En Sonora se encuentran en la región noroeste, correspondiente al mismo desierto Chihuahuense, y regiones semiáridas adyacentes. Existen reportes de presencia dentro del desierto Sonorense en las regiones de Nogales e Imuris y en general hacia el norte del estado de Sonora (Hanan-Alipi et al., 2006). La mayoría de las colonias silvestres hoy en día se encuentran en tierras alteradas y perturbadas, como los campos abandonados, terrenos baldíos, o a lo largo de cercas, caminos, carreteras y vía de ferrocarril (Vasconcellos et al, 1981) a no más de 1980 msnm (Martin et al., 1998).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 18), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

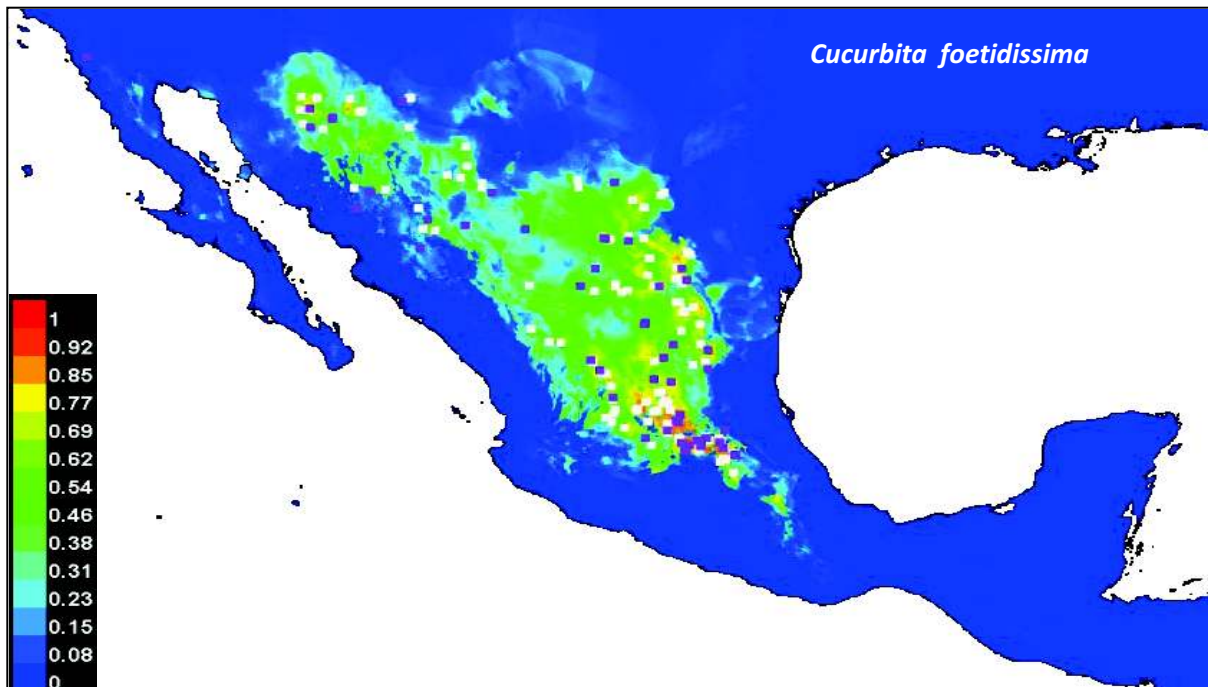


Figura 18. Distribución potencial de *Cucurbita foetidissima* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa la amplia distribución potencial de la especie, pudiéndose encontrar desde la porción noreste del estado de Sonora, la región central de Chihuahua, y en sí en los estados donde se distribuye en el desierto Chihuahuense, como Coahuila, Zacatecas y Nuevo León. Con mayor probabilidad de que se encuentre la especie en los estados de Hidalgo, Querétaro, hasta la parte sur de San Luis Potosí y una pequeña parte del estado de Nuevo León.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra una probabilidad del 0.970% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, contando con 192 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La evaluación del modelo no suele ser la más alta en base a mi criterio a pesar de tantos puntos geográficos, pero el modelo se extiende mucho para hacer la predicción, lo que hace que se reduzca la probabilidad, pero claramente se puede observar en el mapa que las variables ambientales restringen la distribución a las zonas áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense y Sonorense.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XI.

Tabla XI. *Cucurbita foetidissima*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Temperatura promedio anual (°C)	18.2
Precipitación anual (mm)	17.2
Oscilación diurna de la temperatura	10.9

Esto nos dice que las variables temperatura promedio anual y oscilación diurna de la temperatura, interviene en mayor medida para estimar la distribución potencial de la especie y aunque la precipitación anual no tiene una gran contribución en %, puede ser un factor importante en la distribución de la especie.

#### VII.4.5.3. *Ibervillea sonorae* (S. Watson) Green

Descripción taxonómica.- Herbácea perenne, dioica (Wiggins,1980; Herbario de la Universidad de Sonora, sf) con tallos delgados glabros (Wiggins, 1980) con caudex (tubérculo hinchado) y raíces huecas (Sherbon, 1966; Preedy, 2008). Es una enredadera ascendente de 50-150 cm de largo, con brotes persistentes y leñosos, los tallos son semi-flexibles, los más viejos son de color rojizo, y los más nuevos blanquecinos, exfoliados, glabros, verdes con pubescencia dispersa ascendente. Presenta zarcillos simples y pequeños (Wiggins, 1980; Herbario de la Universidad de Sonora, sf). Las hojas de 4-10 cm de largo y ancho, son estrechas, lobuladas (Martin et al., 1998), ampliamente espatuladas u ovados, crenados o dentados más frecuentemente semi-lobulados, con ápices dentados con limbo completo cerca de 2 cm de diámetro (Wiggins, 1980; Herbario de la Universidad de Sonora, sf). Presenta pecíolos de 1-2.5 cm de largo (Wiggins, 1980). Flores amarillas estaminadas, cerca de 1 cm de largo, de color verde claro, con cáliz glabro tubular (Wiggins, 1980; Herbario de la Universidad de Sonora, sf) y corola densamente hispida por dentro y por fuera, los ápices marginados (Herbario de la Universidad de Sonora, sf). Frutos globosos de 2.5 cm de diámetro, inmaduros de color verdes con franjas blancas, al madurar se tornan de color

anaranjado brillante (Wiggins, 1980; Martin et al., 1998), de color rojo en su interior con varias semillas de color negro mate con pericarpio grueso de forma irregulares en forma ovoide, aplanadas a redondeadas en las caras laterales, puntiagudas o redondeadas del ápice (Wiggins, 1980; Ruiz, 2001).



Figura 19. Frutos maduros de wereke (*I. sonorae*). Fuente Alejandro E. Castellanos V.

Fenología.- Florece en el mes de mayo con frutos ya maduros para el mes de agosto hasta octubre (Wiggins, 1980; Martin et al., 1998; Felix-Gotobopicio et al., 2009).

Características ecofisiológicas.- Su arquitectura hidráulica es la que le ha permitido sobrevivir y adaptarse a vivir en ambientes áridos y semiáridos (Putz et al, 1991). El caudex es muy hinchado, globoso o aplanado de hasta tres metros de diámetro en ejemplares muy viejos, puede permanecer sin follaje aéreo y en las temporadas de lluvia pueden emerger los tallos y hojas. Posee buena capacidad de crecimiento en situaciones de estrés hídrico, ya que el caudex sirve de almacenamiento de agua (Sherbon, 1966; Putz et al, 1991) y de grandes reservas de hidratos de carbono, muy por encima de las cantidades necesarias para un ciclo anual de crecimiento. Se ha sugerido que una función adicional de estos hidratos de carbono puede ser



proporcionar un gradiente osmótico para generar la presión suficiente para evitar el embolismo del xilema (Putz et al, 1991). El caudex se utiliza con frecuencia como planta medicinal de diversas enfermedades, sin evidencias de contener agentes tóxicos conocidos (Sherbon, 1966; Ruiz, 2001; Preedy, 2008), posiblemente existan mínimas cantidades de ácido oxálico o sales de magnesio, y la posibilidad también que posea alcaloides (Martínez-Castañeda et al., 2011).

Distribución actual.- Se localiza en zonas áridas y semiáridas del noroeste de México, en los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa (Martin et al., 1998). Es un elemento básico del matorral espinoso y el chaparral, encontrándose en el desierto, dunas costeras, llanuras costeras y entre los arbustos subtropicales hasta los 400 msnm (Martin et al., 1998; Ruiz, 2001).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 20), mostrando la distribución potencial de la especie.

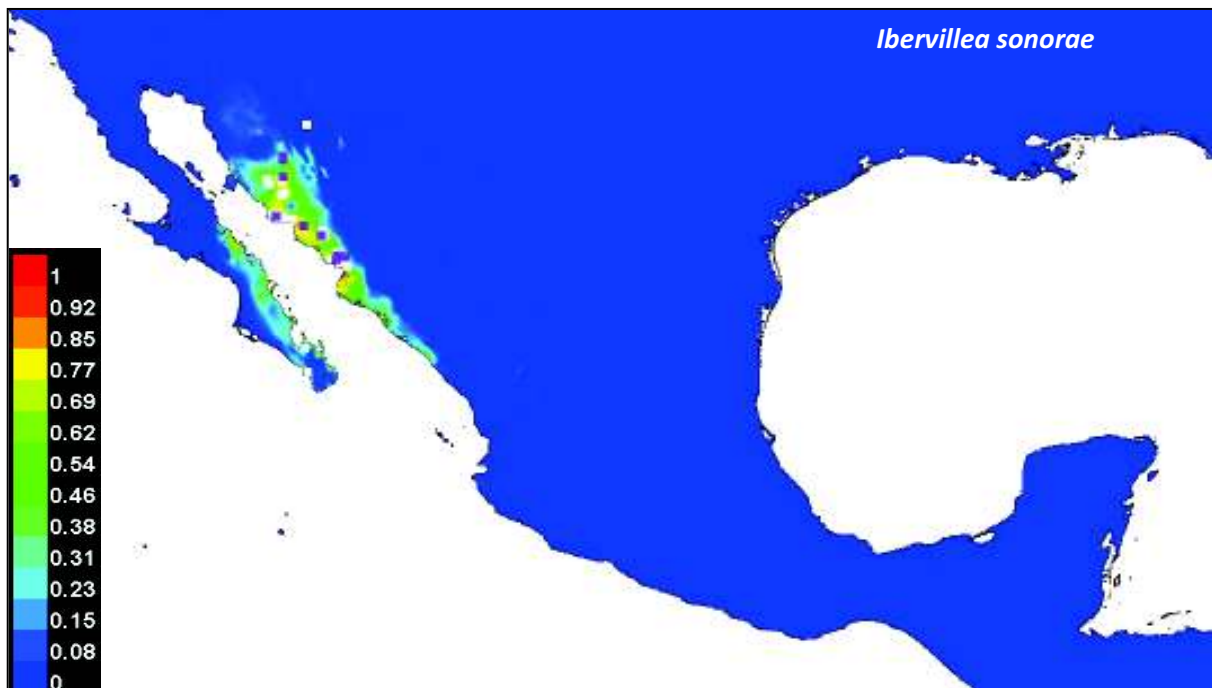


Figura 20. Distribución potencial de *Ibervillea sonorae* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa que la distribución potencial de la especie se restringe a la parte central y hacia el sur del estado de Sonora, así como el norte de Sinaloa y el litoral este de Baja California Sur. Se aprecia una pequeña porción hacia el noroeste de Baja California Sur, en el litoral del golfo de California, así como en el litoral en la parte sur del estado de Sonora y litoral en el norte de Sinaloa.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra una probabilidad del 0.995% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada muy bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB contaron con 50 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada de una forma muy idónea, influyendo en mayor medida que la alta probabilidad de dichos puntos estuvieran cercanos entre sí, ya que si uno de esos puntos hubiera estado muy alejado de ellos, bajaría la probabilidad ya que se estuviera sobreestimando la distribución entre esas dos regiones.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XII.

Tabla XII. *Ibervillea sonora*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	37.8
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	26
Estacionalidad de la precipitación Coeficiente de variación en %	18.9

Esto nos dice que las variables precipitación del cuatrimestre seco y estacionalidad de la precipitación coeficiente de variación, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso, es la variable ambiental que interviene con mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie, lo que puede sugerir cierta independencia del régimen de precipitación al encontrarse en regiones con mayor constancia en la disponibilidad de la precipitación.

## VII.4.6. Familia Euphorbiaceae

### VII.4.6.1. *Jatropha cardiophylla* (Torr.) Müll. Arg.



Figura 21. Detalle de las hojas del sangregrado (*J. cardiophylla*). Fuente: Vekol Valley, 2008.

Descripción taxonómica.- Arbusto perenne, siendo algunas plantas monoicas aunque la mayoría son dioicas, es cespitoso con numerosas ramas flexibles (Turner et al., 1995; Martin et al., 1998), su altura promedio es de 1-2 m (Dehgan et al., 1979; Turner et al., 1995), con savia perfumada de color rojo intenso (Plagens, 1999). Tallos carnosos, delgados muy ramificados, generalmente derivados de carnosos rizomas subterráneos delgados (Dehgan et al., 1979; Dimmitt, 2000), erectos, glabros, con corteza de color rojizo, con ramas visibles de 5-25 mm de largo (Shreve et al., 1964; Plagens, 1999). Hoja caduca, pequeña de 1.5-2.5 cm de largo por 3-7 cm de ancho, (Dehgan et al., 1979; Turner et al., 1995), de forma ovado-cordados en forma de corazón (Plagens, 1999; Dimmitt, 2000), glabras con márgenes crenados superficialmente, por lo general dicotómicamente ramificados, de color verde brillante en ambas superficies y pecíolos largos de color rojo (Shreve et al., 1964; Wiggins, 1980). Las

flores son pequeñas, de color blanco amarillento a rosa pálido (Dehgan et al., 1979), tubulares, con cinco lóbulos, y poco visible por debajo de las hojas, ya que cuelgan delicadamente de los tallos superiores (Kane, 2006) que aparecen durante la temporada de lluvias (Dehgan et al., 1979; Dimmitt, 2000). El fruto es una cápsula (Wiggins, 1980), con tres semillas pequeñas redondeadas (Plagens, 1999; Kane, 2006).

Fenología.- Su fase reproductiva comienza a principios de verano, y la floración es entre julio a noviembre (Shreve et al., 1964; Dehgan et al., 1979; Martin et al., 1998).

Características ecofisiológicas.- Su biología depende de las lluvias de verano que son menos predecibles hacia el noroeste de México (Plagens, 1999). En temporadas de lluvias el tallo se alarga considerablemente (Dehgan et al., 1979) apareciendo inmediatamente las primeras hojas (una semana) aumentando de tamaño rápidamente (Turner et al., 1995; Dimmitt, 2000). Al terminar el monzón, las hojas se vuelven amarillas, cayéndose un número considerable de ellas, apareciendo nuevas hojas de menor tamaño en las lluvias ligeras de invierno, permaneciendo pequeñas hasta el monzón de verano lo cual proporciona humedad para su plena expansión (Dimmitt, 2000). El crecimiento de la planta puede variar, ya que al sur del estado de Sonora donde las heladas son poco frecuentes las plantas pueden crecer como árboles pequeños, en cambio, al norte, donde las heladas son más frecuentes y los inviernos más fríos ocasionalmente las plantas rara vez crecen más de 1.5 m. Es resistente a la sequía y al frío, pero si caen las temperaturas por debajo de los 0 °C (Dehgan et al., 1979; Plagens, 1999) y si se prolongan los periodos de sequía, la hoja cae (Plagens, 1999) y la planta puede morir. En las periódicas heladas severas o incendios, puede morir la parte aérea de la planta, pero gran parte de la biomasa de la planta se encuentra en las raíces masivas subterráneas, pudiendo producir nuevos tallos muy rápidamente (Dimmitt, 2000). La corteza del tallo es rojiza, las ramas y raíces cuando son cortadas pueden exudar un pigmento con apariencia de sangre, de allí su nombre “sangrengado”.

Distribución actual.- Se encuentra desde el sureste del desierto de Sonora en Arizona (Tucson) (Plagens, 1999; Kane, 2006) y más frecuentemente en Sonora, México (Dehgan et al., 1979; Plagens, 1999). En el estado de Sonora se puede encontrar frecuentemente desde la región central de hasta el sur (Shreve et al., 1964). Se distribuye en llanuras áridas, colinas y mesetas (Shreve et al., 1964; Kane, 2006) creciendo sobre pendientes rocosas (Kane, 2006),

frecuentemente debajo de otros arbustos. Se puede encontrar a partir del nivel del mar hasta los 2,400 msnm de altitud (Dimmitt, 2000; Kane, 2006).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 22), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

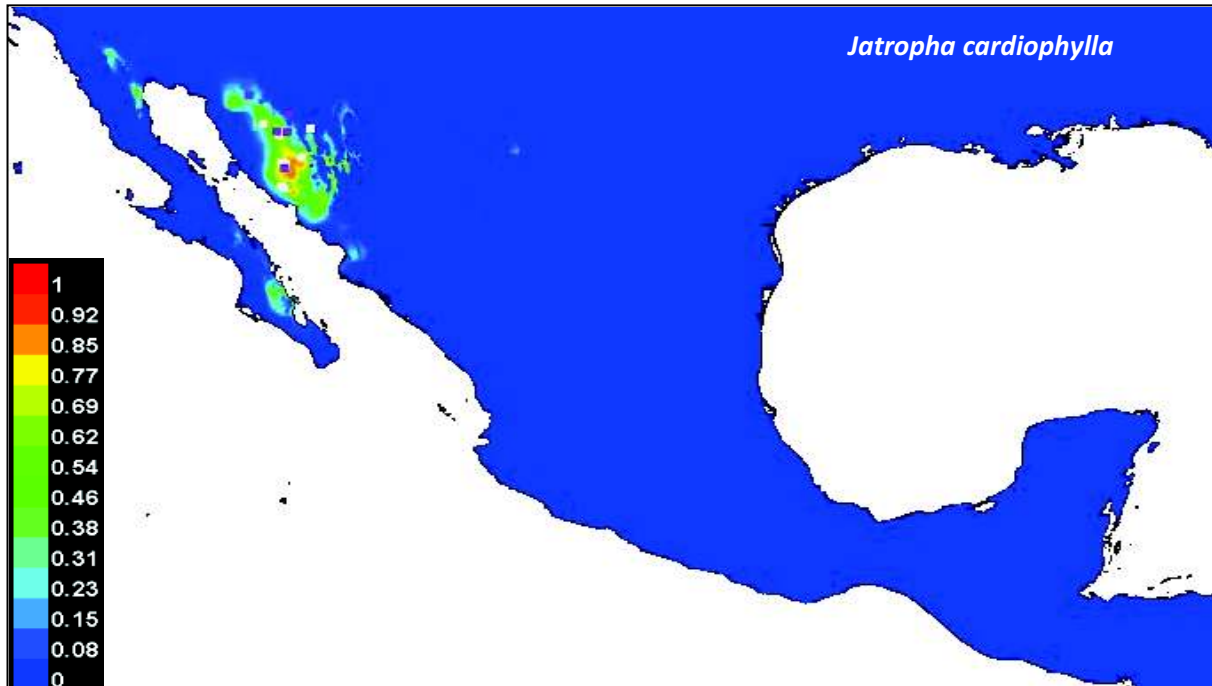


Figura 22. Distribución potencial de *Jatropha cardiophylla* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa, que la distribución potencial de la especie se restringe al noroeste de México, principalmente en el estado de Sonora. La mayor probabilidad de que se encuentre la especie es en la parte central y hacia el sur del estado de Sonora, con pequeñas probabilidades dispersas en el noroeste de país.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.997%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada muy bien en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, contando con 22 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada de una forma muy idónea, a pesar de ser tan pocos los puntos

geográficos registrados, influyendo en mayor medida que dichos puntos estuvieran cercanos entre sí.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII. *Jatropha cardiophylla*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Estacionalidad de la precipitación Coeficiente de variación en %	31.8
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)	24.2
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	23.1

Esto nos dice que las variables de temperatura mínima promedio del periodo más frío y temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero el coeficiente de variación de la estacionalidad de la precipitación, es la variable ambiental que más interviene en la predicción de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4.6.2. *Jatropha cinerea* (Ort.) Mull. Arg

Descripción taxonómica.- Árbol perenne, dioico, con crecimiento arbóreo o arbustivo, de diversas alturas, ya que puede medir de 1-7 m, con tallos leñosos cafés o blanquecinos semisuculentos, con savia de color rojo oscuro (Shreve et al., 1964; Wiggins, 1980; Dehgan, 1982). Hoja caduca de 2-7 cm de ancho, más o menos cordadas en la base, algo unduladas, ligeramente pubescentes (Shreve et al., 1964), de color verde brillante a cenizo por el haz y de un color más pálido por el envés, pecíolo alrededor de 1 mm de largo. Presentan dimorfismo sexual en las flores, pero en general sus pétalos son de color rosa (Wiggins, 1980) de 2-2.5 cm de ancho, los sépalos son lanceolados estaminados de 2-3 mm lo largo, ceniciento-pubescente, ligeramente recurvados, pétalos de 6-8 mm de largo, connados en una corola tubular (Shreve

et al., 1964). Semillas globosas a obovoides, 10.8 mm de diámetro, color gris claro, a menudo salpicadas de rojo o púrpura, con una clara línea vertical a lo largo de color marrón en la cara interna (Kane, 2006; Wilder et al, 2008).



Figura 23. Hojas y fruto de torotillo (*J. cinerea*). Fuente: A. Castellanos Villegas.

Fenología.- La presencia de hojas está relacionada con la presencia de humedad durante los meses del verano julio a septiembre, en ocasiones octubre y muy raramente después las hojas senescen (Shreve et al., 1964). La floración ocurre generalmente en agosto (Shreve et al., 1964), en algunas ocasiones desde julio. La fructificación ocurre poco después en agosto-septiembre, aunque en ocasiones y en años muy particulares probablemente debido a lluvias tardías, es posible encontrar una segunda fructificación en el otoño en los meses de octubre a noviembre (Wiggins, 1980).

Características ecofisiológicas.- Es resistente a la sequía y al frío. A temperaturas por debajo de los 0 °C y prolongados periodos de sequía, las hojas se vuelve caducas y la planta puede morir (Dehgan et al., 1979; Plagens, 1999; Wilder et al, 2008). Al igual que *J. Cardiophylla* diversos tipos de perturbación que afectan la parte aérea de la planta, no la

afectan pues gran parte de la biomasa se encuentra en sus raíces subterráneas, pudiendo producir nuevos tallos posteriormente a la perturbación (Dimmitt, 2000).

Distribución actual.- La especie se distribuye ampliamente dentro del desierto Sonorense, en los estados de Baja California Sur, Baja California y Sonora, aunque existen especímenes identificados el este para los estados de Sinaloa (Shreve et al., 1964), Nayarit, Jalisco, Michoacán hasta Oaxaca, de los cuales habrá que considerar su revisión (Dehgan, 1982). Estas plantas se encuentran principalmente en o cerca de zonas costeras (Dehgan, 1982), comúnmente se encuentran en llanuras, colinas y mesetas hasta los 300 msnm (Martín et al., 1998; Wilder et al, 2008).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 24), mostrando la distribución potencial de la especie.

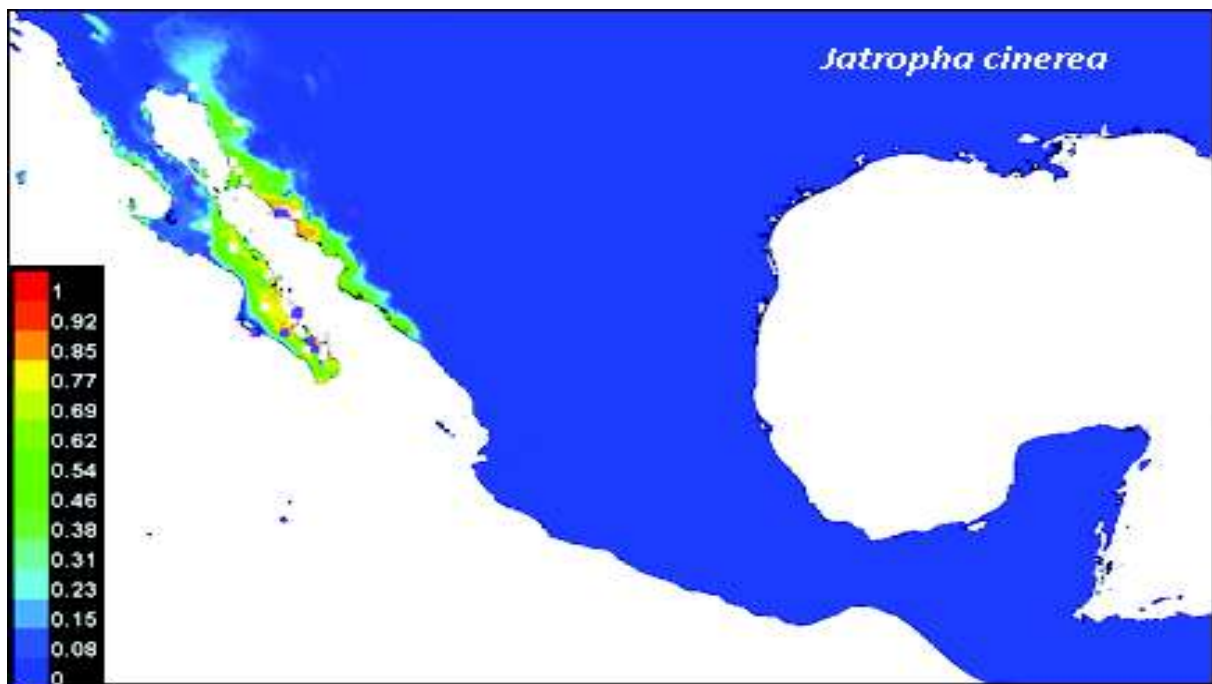


Figura 24. Distribución potencial de *Jatropha cinerea* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa que la distribución potencial de la especie se restringe al noroeste de México, principalmente en los litorales de los estados de Sonora, Baja California Sur hacia el golfo de California y norte de Sinaloa. La mayor probabilidad de que se encuentre la especie es hacia el sur del estado de Sonora sobre el litoral y en Baja California Sur casi llegando a la península.



Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.991%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada muy bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, encontrando 65 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada de una forma idónea, a pesar de que pudo haber aumentado esa probabilidad pero los puntos geográficos se encuentran ampliamente distribuidos en los estados de Sonora y Chihuahua.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV. *Jatropha cinerea*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	36.2
Precipitación anual (mm)	22
Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C)	13.1

Esto nos dice que las variables de precipitación anual y temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la precipitación del cuatrimestre seco, es la variable ambiental que interviene con un mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4.6.3 *Jatropha cordata* (Ort.) Müll. Arg

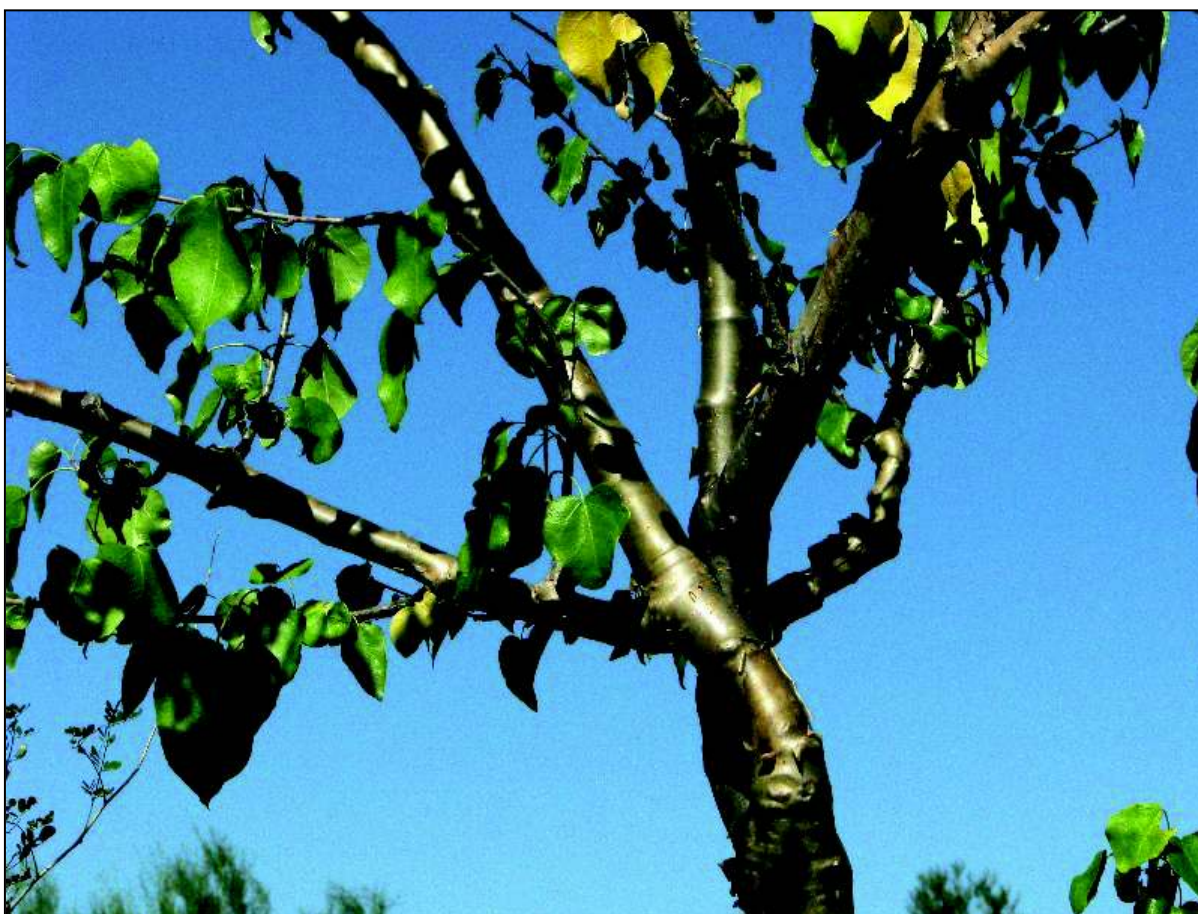


Figura 25. Detalle del tronco y hojas de torote papelío (*J. cordata*). Fuente: Jesús Sánchez Escalante, 2008.

Descripción taxonómica.- Pequeño árbol perenne, monoico de 2-10 m de altura (Turner et al, 1995; Sánchez-Escalante, 2006), con poco follaje, de madera suave y semi-suculenta (Turner et al, 1995; Martin et al., 1998) y de ramas pequeñas flexibles (Sánchez-Escalante, 2006). Posee un tronco bien desarrollado, brillante, la corteza se desprende en láminas delgadas como papel (Popham., 1947). Hojas caducas de 2.5-6 cm de largo por 1.5-4.5 cm de ancho, son ovadas a cordadas (Dehgan et al., 1979; Turner et al, 1995), glabras en ambas superficies (haz y envés) usualmente no lobadas y de una apariencia lustrosas (Turner et al, 1995) de color verde brillante en el haz, presentando en la punta un margen dentado (Dehgan et al., 1979). Los pecíolos son delgados de 2-4.5 cm. de longitud de color rojo oscuro. Inflorescencias axilares (Martin et al., 1998). Flores cimosas acampanadas de color rosa, y márgenes blancos (Martin et al., 1998). Frutos de 1-1.2 cm de longitud y de 1.5-2 cm

de ancho. Semillas de forma obovoide que mide de 8-9 mm de ancho por 10-12 mm de longitud, de color negro mate, con una pequeña carúncula blanquecina (Shreve et al., 1964; Gil-Montaña et al., 2010)

Fenología.- Florece de agosto a septiembre. Las hojas aparecen al inicio de las lluvias de verano (Shreve et al., 1964; Turner et al., 1995).

Características ecofisiológicas.- Las hojas por lo general las presenta durante la temporada de lluvias de verano, siendo caducas en tiempos de sequía, pudiendo llegar a confundirse con especies de *Bursera* por su semejante corteza, al no tener hojas (Sánchez-Escalante, 2006). Las hojas pueden variar a diferentes gradientes de latitud; ya que los ejemplares de la misma especie hacia el norte de Sonora y Chihuahua son glabras y las del sur de Sonora suelen presentar pubescencias (Turner et al., 1995). Esta especie es muy susceptible a las heladas y es el factor principal que limita la distribución de la especie en zonas templadas y mayor altitud (Shreve et al., 1964; Turner et al., 1995).

Distribución actual.- La distribución para México son para los estados de Sonora con varios registro de presencia en la Sierra de Mazatán (Popham, 1947; Sánchez-Escalante, 2006), en la región Guaymas-San Carlos, en el río Sonora hasta Cucurpe, al Centro-norte y noreste además en los estados de Baja California, Chihuahua, Sinaloa (Popham, 1947; Shreve et al., 1964; Turner et al., 1995) y Jalisco (Popham, 1947). Se encuentra en colonias dispersas (Martin et al., 1998), es un componente importante en el matorral espinoso, matorral subtropical (Popham, 1947; Sánchez-Escalante, 2006) y ocasionalmente en bosques de roble (Popham, 1947), encontrándose arriba de los 1000 metros de elevación sobre las pendientes rocosas, laderas volcánicas y poco común en planicies (Sánchez-Escalante, 2006).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 26), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en la Costa del Pacífico, encontrándose hacia la región central hasta el sur del estados de Sonora, así como en el estado de Sinaloa. Mostrándose una población disyunta en el estado de Jalisco y sus alrededores.

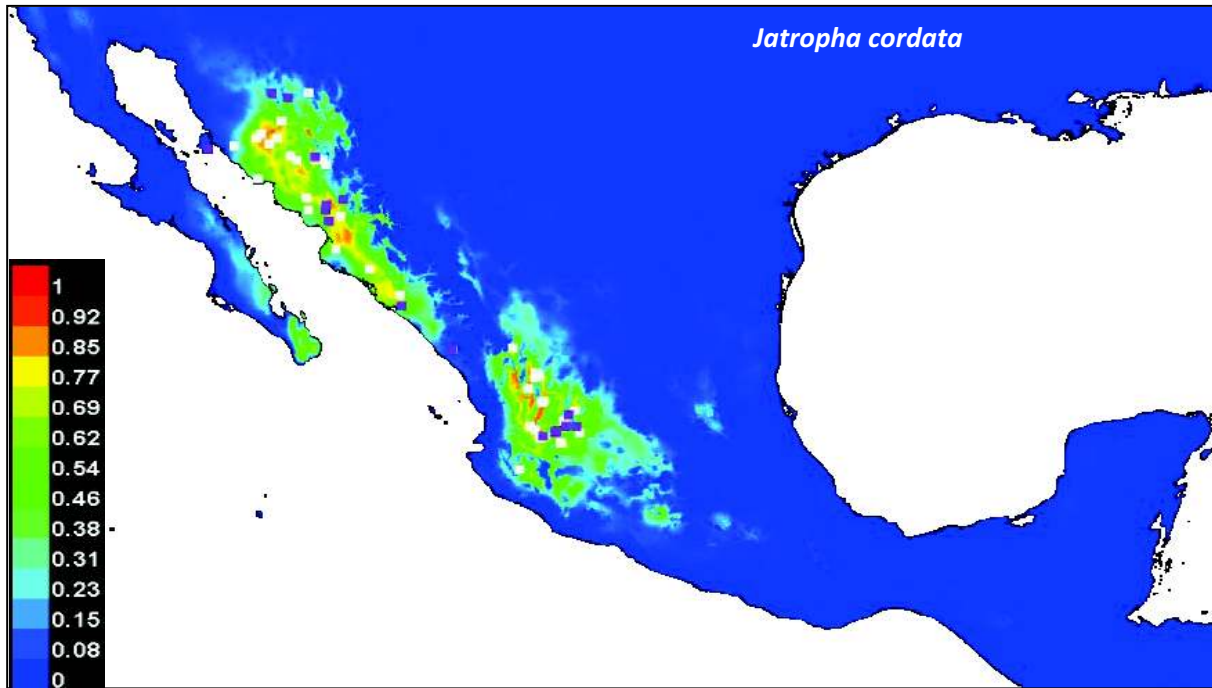


Figura 26. Distribución potencial de *Jatropha cordata* mediante modelo de nicho.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.981% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, contando con 61 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. Mostrando que los puntos de colecta no son precisamente en zonas áridas, ya que esta planta es un de climas más tropicales, con posibilidades de restaurar sitios perturbados en estas zonas.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XV.

Tabla XV. *Jatropha cordata*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación %)	34.4
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	19.2
Oscilación anual de la temperatura (°C) (Cociente entre parámetros 5/6)	9.7

Esto nos dice que las variables de precipitación del cuatrimestre seco y oscilación anual de la temperatura, determinan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero el coeficiente de variación de la estacionalidad de la precipitación, es la variable ambiental que interviene en mayor porcentaje hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4.7. Familia Fabaceae

##### VII.4.7.1. *Olneya tesota* A. Gray



Figura 27. Floración del palo fierro (*O. tesota*). Fuente: Beth Kinsey, 2003.

Descripción taxonómica.- Es un árbol perenne de 5-15 m de altura, que tiene la apariencia de arbusto (Torres et al., 2009) con espinas, y con madera muy densa y corteza fisurada (Turner et al, 1995). El tronco es ramificado cercano a la superficie del suelo, midiendo hasta más de 60 cm de diámetro en individuos muy viejos (Torres et al., 2009), siendo la corteza de color gris claro (Turner et al, 1995). Las ramas jóvenes alcanzan de 10-15 mm de grosor, son verdes y son fotosintéticamente activos, las ramas más viejas desarrollan una capa gruesa de corteza externa (Ritidoma) (Torres et al., 2009). El follaje es de color verde oscuro (Turner et al, 1995; Martin et al., 1998), las hojas son compuestas, pinnadas, alternas (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995; Torres et al., 2009) de 6 cm de largo, con cuatro a doce pares de folíolos delgados, flexibles (Shreve et al., 1964), angostamente elípticos (Torres et al., 2009), oblongos a obovados de color verde grisáceo (Turner et al, 1995; Torres et al., 2009) de 7 a 20 mm de largo. En la base de cada hoja tiene un par de pequeñas espinas curvadas (Torres et al., 2009). Las flores son de color violeta rosado de 9-12 mm de longitud (Turner et al, 1995; Torres et al., 2009), encontrándose agrupadas en racimos axilares 2-6 cm de largo (Turner et al, 1995) en cortos ramilletes densos al final de las ramas de una forma arqueada (Torres et al., 2009). El fruto es una vaina globosa dehiscente (Shreve et al., 1964; Torres et al., 2009), de 3-6 cm de largo por 8-9 mm de ancho con una a ocho semillas de 8 mm de diámetro (Torres et al., 2009), de forma ovalada, de color negro (Shreve et al., 1964) a marrón o café brillante (Turner et al, 1995).

Fenología.- Florece desde la primavera en el mes de marzo hasta principios de verano en mayo o junio (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995) y en localidades determinadas, la floración dura sólo unas pocas semanas. Los frutos comienzan a madurar en mayo o junio inmediatamente después de la floración, y su caída es de cuatro a ocho semanas más tarde (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995).

Características ecofisiológicas.- La madera es tan densa que no flota en el agua (Martin et al., 1998). Son de hoja perenne, pero pueden esencialmente perder algunas hojas a medida que disminuye la humedad del suelo, ya sea por la sequía o las heladas fuertes (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995). Pierde ramas pequeñas inclusive troncos como consecuencia de la sequía (Shreve et al., 1964) y también después de las heladas fuertes cuando las temperaturas caen por debajo de cero en el invierno (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995), justo antes de la floración, cuentan con apariencia sana de las principales ramas y troncos. La medida en que

las bajas temperaturas determinan los límites norte y este de esta especie, es probable que operen a través de su efecto sobre las plántulas, sufriendo daños por heladas con temperaturas inferiores a  $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Turner et al, 1995). Son de crecimiento lento (Turner et al, 1995), llegando a tallas importantes durante la temporada de lluvias de verano. Responden a la humedad del suelo favorablemente tanto en verano como en invierno (Turner et al, 1995); debido a que tienen raíces profundas, por lo general no falta la humedad del suelo, manteniendo los valores del potencial de agua al amanecer, relativamente altos y constantes en la planta. Tiene valores de conductancia bajos, en comparación con otras especies perennifolias del desierto en el mismo hábitat, lo que sugiere que la prevención de la sequía de sus hojas es una adaptación importante, a pesar de las profundas raíces. De hecho, árboles maduros de *O. tesota* pierden extremidades o troncos pequeños como consecuencia de la sequía (Shreve et al, 1964). La causa más común de muerte es por saturación prolongada del suelo, como ocurre con frecuencia durante las lluvias de verano, ocasionando la obstrucción de los canales de drenaje y en zonas de inundaciones que no ofrecen ninguna salida de agua (Shreve et al., 1964). Es por eso que pequeños bosques de árboles muertos son frecuentes a lo largo del borde occidental de las llanuras de Sonora (Shreve et al., 1964). Prefieren crecer en un suelo suelto, arenoso o pedregoso, y el mejor rendimiento con riego periódico (Turner et al, 1995). Fija nitrógeno en las raíces por medio de nódulos fijadores (Turner et al, 1995). La albura del árbol muerto es rápidamente consumida por las termitas, pero el duramen no es atacado. Grupos de árboles muertos desde varios años, consisten simplemente en el esqueleto del duramen, que resiste a la intemperie por muchos años (Shreve et al., 1964).

Distribución actual.- Se distribuye en el desierto Sonorense, desde el estado de Baja California, Baja California Sur, Sonora y el suroeste de Estados Unidos (Shreve et al., 1964; Turner et al, 1995). En Baja California, el árbol se encuentra a lo largo de la península de California en el lado del Golfo, pero es raro o ausente en el lado del Pacífico. En las tierras altas de Arizona se encuentra en numerosas áreas y se encuentra mayor distribuido en la región central del estado de Sonora (Shreve et al., 1964). Es dominante en las laderas rocosas o con grava encontrándose también sobre llanuras, y con mayor frecuencia a altitudes alrededor de 200 msnm (Shreve et al., 1964).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 28), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

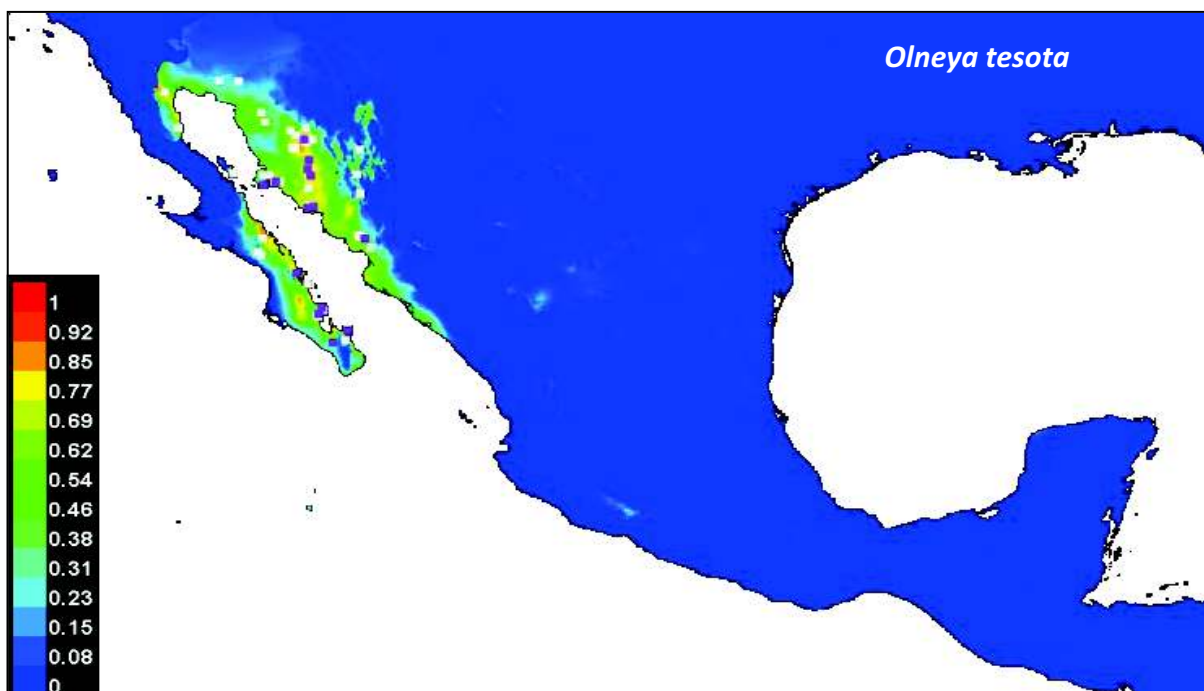


Figura 28. Distribución potencial de *Olneya tesota* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es en el desierto Sonorense en el estado de Sonora y de Baja California Sur. Con mayor probabilidad de que se encuentre la especie en la región central de Sonora y en las zonas costeras de Baja California Sur hacia el lado este en el Golfo de California, así como en el estado de Sinaloa.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.986%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados, fueron utilizados de las bases de datos de SEINet y REMIB, contando con 90 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. A pesar del número de puntos geográficos, la probabilidad tendió a bajar, ya que los puntos geográficos se encuentran ampliamente distribuidos en los estados de Sonora y Baja California Sur.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XVI.



Tabla XVI. *Olneya tesota*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	26.6
Oscilación diurna de la temperatura	18.2
Temperatura promedio del cuatrimestre seco (°C)	17

De las 19 variables climáticas utilizadas, las variables de oscilación diurna de la temperatura y temperatura promedio del cuatrimestre seco, ayudan a que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero la temperatura promedio del cuatrimestre seco, es la variable ambiental que interviene en mayor medida hacia la predicción de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4.7. 2. *Prosopis velutina* Woot



Figura 29. Inflorescencias y hojas del mezquite (*P. velutina*). Fuente: Maricopa C. 2008.

Descripción taxonómica.- Es un arbusto o árbol perenne, espinoso, pubescente de hoja caduca (Uchytil, 1990). Mide hasta 17 m de alto, con el tronco con ramificaciones desde la base o un solo tronco, con un diámetro de hasta 61 cm, es de color marrón a gris oscuro, escabroso y grueso, y se separa en tiras largas y estrechas (Uchytil, 1990; Plagens, 1999; Kane, 2006). Tiene espinas fuertes, rectas, de color gris pálido, dispuestas en pares en los nodos de las hojas (Plagens, 1999; Kane, 2006), por lo general de 1-2 cm de largo (Uchytil, 1990), existiendo una considerable variación en la longitud, soliendo ser más abundantes en las ramas más jóvenes (Kane, 2006). Sus hojas pinnadas pequeñas, con pubescencias finas principalmente en las jóvenes (Plagens, 1999), componiéndose de una serie de 8-20 folíolos secundarios (Kane, 2006) de 4-13 mm de largo (Uchytil, 1990; Palacios, 2006), plegándose por la noche (Plagens, 1999). Inflorescencia de 5-12 cm de longitud (Uchytil, 1990; Turner et al, 1995), dispuestas en racimos espiciformes, pedunculado (Turner et al, 1995; Palacios, 2006). Numerosas flores pequeñas (de 220-240 por inflorescencia), de forma cilíndrica (Turner et al, 1995; Kane, 2006), de color verde amarillento con pétalos pubescentes en la porción apical interna (Plagens, 1999; Palacios, 2006). Los frutos son vainas comprimidas de 7.6-30 cm de largo, pubescentes, de rectas a curvadas (Uchytil, 1990), ligeramente constreñidas entre cada semilla (Plagens, 1999), presentándose solas o por lo general en racimos colgantes, con márgenes ondulados, no maculados, de color amarillo, rojo, negro o moteado (Uchytil, 1990; Plagens, 1999) o color paja al madurar (Turner et al, 1995). Las semillas son de forma ovalada a elíptica, de 5-7 mm de largo por 4.5 mm de ancho (Uchytil, 1990), con endocarpio uniseminados de color marrón brillante (Palacios, 2006), las semillas son numerosas por fruto, alrededor de 14,2000 semillas por año (Turner et al, 1995).

Fenología.- Las flores aparecen en la primavera a finales de marzo hasta el mes de abril, después de la aparición de las hojas, en la mayoría de años, una segunda floración se produce en verano a principios de junio hasta julio (Uchytil, 1990; Turner et al, 1995).

Características ecofisiológicas.- Responde a estímulos ambientales, tales como el fotoperíodo, siendo muy resistente a las sequías y las heladas. Puede soportar temperaturas de hasta -15 °C (Turner et al, 1995), sin riesgo de mortandad. Se relaciona directamente su biología con las precipitaciones (Turner et al, 1995). Es una planta freatofita facultativa, sus raíces pueden encontrarse a profundidades por lo regular de 20 m, sin embargo estas se han encontrado en profundidades de más de 50 m de profundidad, extrayendo la humedad a través

de un sistema radicular bien desarrollado constando de raíz primarias y secundarias de alrededor de 15 a 30 cm por debajo de la superficie del suelo (Uchytíl, 1990). Las raíces primarias de plántulas y de la planta adulta crecen rápidamente durante la temporada de lluvias de verano al igual que la floración de los ejemplares adultos se relaciona directamente con la cantidad de lluvias de verano, maximizando la probabilidad de supervivencia hasta la próxima lluvia (Turner et al, 1995). Estas plantas alcanzan el agua subterránea, siendo la característica principal que les ha permitido desarrollarse y distribuirse en las zonas áridas y semiáridas. Esta adaptación le permiten mantener las hojas permanentemente, menos en los periodos de sequías más severas (Uchytíl, 1990). Sus hojas presentan una anatomía que les permite economizar agua, sus estomas se cierran cuando incrementa el déficit de presión de vapor, así mismo las hojas se pliegan al mediodía para disminuir el grado de insolación (Flores-Tena, 1992). Estas plantas desempeñan una función muy importante en la redistribución del agua ya sea modificando el ambiente y minimizando condiciones estresantes de sequía, ya que permite bajo su dosel que prosperen otras especies de plantas anuales, perenes y herbáceas, ya que de otra manera no podrían prosperar esas especies bajo las condiciones extremas de aridez y de sequía (Flores-Tena, 1992). Entre las plantas arbóreas del desierto posee capacidades fotosintéticas relativamente altas, esto se debe sobre todo al buen aprovechamiento del agua y del nitrógeno, por lo que su productividad se ve aumentada significativamente (Flores-Tena, 1992). Sus raíces constan de nódulos fijadores de nitrógeno, que pueden contribuir sustancialmente a las demandas requeridas por las hojas. Los árboles más grandes se encuentran a menudo a lo largo de los cursos de agua o llanuras de inundación, donde el sistema de raíces profundas tiene acceso al manto freático todo el año. En general, las formas de árboles se encuentran en los suelos aluviales mientras que las formas más pequeñas se encuentran generalmente sobre suelos rocosos de montaña (Uchytíl, 1990; Kane, 2006). Dependiendo de la época del año, si una planta es perturbada y desprovista del follaje y estructuras aéreas, puede volver a rebrotar en un lapso corto de tiempo, ya que el tallo subterráneo se encuentra en reposo y puede generar nuevos tallos (Uchytíl, 1990).

Distribución actual.- Se encuentra distribuida en todo el desierto Sonorense (Flores-Tena, 1992), en el suroeste de Estados Unidos y en el noroeste de México solo en el estado de Sonora (Uchytíl, 1990; Plagens, 1999; Kane, 2006). Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2,000 metros de altitud, aunque prefiere lugares moderadamente secos, prosperando en

climas desde muy áridos, cálidos subhúmedos, hasta templado subhúmedo (Flores-Tena, 1992; Palacios, 2006). Es común a lo largo de los cursos de agua (Kane, 2006) en los hábitats ribereños, frecuentemente en las tierras altas (Turner et al, 1995; Plagens, 1999).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 30), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

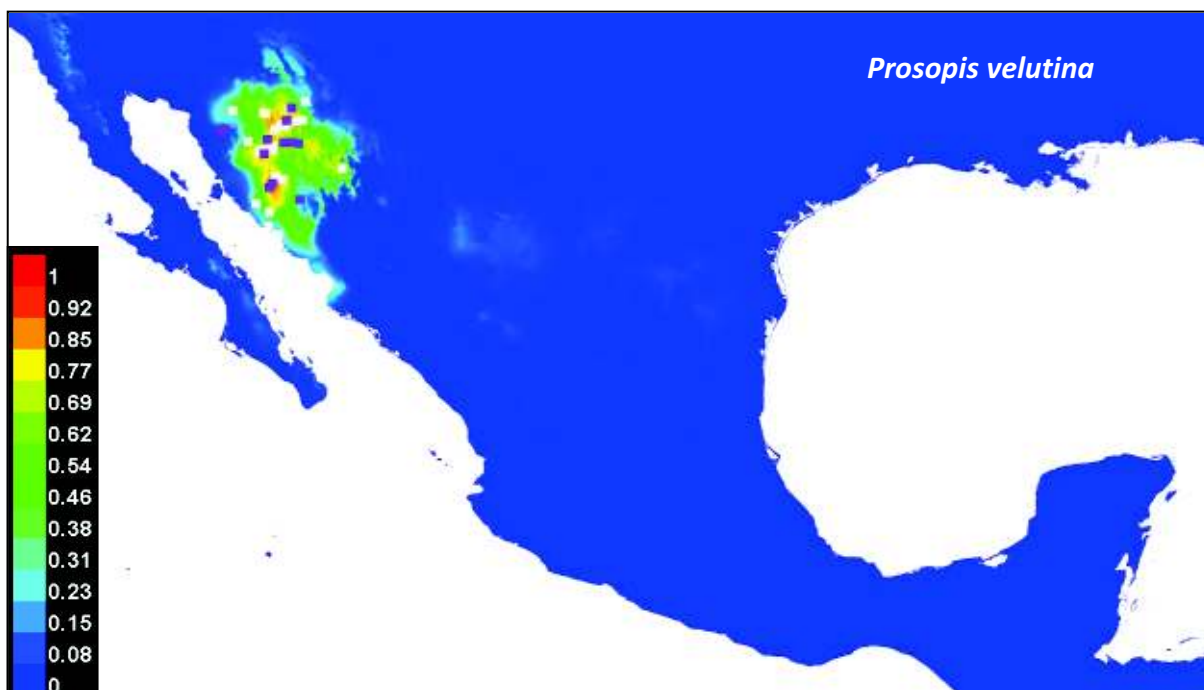


Figura 30. Distribución potencial de *Prosopis velutina* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la más alta probabilidad de que se encuentre la especie es restringida para el estado de Sonora, encontrándose ampliamente distribuida en este mismo estado. La más alta probabilidad de que se encuentre la especie en la región central de Sonora hacia el norte, llegando casi a las frontera con Tucson Az.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC mostró la confiabilidad hacia la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.994% lo cual nos indica que la distribución potencial fue modelada muy bien, en base a los datos que se corrieron en el programa, donde el número de datos depurados de las bases de datos de SEINet y REMIB, con 46 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada de una forma muy idónea, a pesar de la cantidad de localidades geográficas.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVII. *Prosopis velutina*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación %)	34.8
Oscilación diurna de la temperatura	31.4
Precipitación del cuatrimestre frío (mm)	13.2

Las variables de oscilación diurna de la temperatura y precipitación del cuatrimestre frío, influyeron para que MaxEnt obtenga un buen ajuste, pero el coeficiente de variación de la estacionalidad de la precipitación es la variable ambiental que contribuye con un mayor porcentaje en la determinación de la distribución potencial de la especie.

#### VII.4. 8. Familia Simmondsiaceae

##### VII.4.8.1. *Simmondsia chinensis* (Link) Schneider

Descripción taxonómica.- Es un arbusto perenne, dioico, heliófilo, siempre verde (García-Panela, 2007), con forma erecta de 1.5 m hasta más de 4 m de alto (Matthews, 1994). Las hojas son opuestas simples y erectas, oblanceoladas, de consistencia coriáceas, gruesas y pubescentes, cubierta de cera, de 2-5 cm de largo y 1.5-2 cm de ancho (SEINet, 2010) y de color azul-grisáceo (Schneid, 1907; Matthews, 1994). La flores son apétalas unisexuales en diferentes individuos (CONABIO, Sf), de color amarillo, estáminadas, pedunculadas en racimos de 2-3 cm de largo, con pedúnculos de hasta 5 mm de largo en las axilas de las hojas, los pistilos son pequeños (Schneid, 1907; Matthews, 1994; SEINet, 2010), siendo las flores masculinas más pequeñas que las flores femeninas y agrupándose en racimos más densos

(Matthews, 1994). El fruto es una cápsula dehiscente (CONABIO, Sf; SEINet, 2010) variando notablemente en tamaño, forma y color, pueden ser relativamente redondos, largos y agudos, oval o elípticos (CONABIO, Sf). La cápsula es por lo general de color verde durante su desarrollo, con cubierta brillante coriácea de hasta 3 cm de largo, generalmente con una sola semilla, pero puede contener en ocasiones hasta tres semillas (Matthews, 1994) de color café, pubescentes (Castellanos et al., 1978, SEINet, 2010). Las semillas son de color café oscuro, variando en tamaño, forma y pubescencias, presentan muy poco endospermo ya que están formados prácticamente de los cotiledones (García-Penela, 2007).



Figura 31. Detalle del fruto de jojoba (*S. chinensis*). Fuente: A. Castellanos Villegas.

Fenología.- La floración es muy variable, aparece sobre todo en Febrero y Marzo (Matthews, 1994), pero es común que inicien durante el otoño al invierno del año anterior para madurar durante la primavera y producir frutos y semillas durante el verano (Julio-Agosto) (Castellanos et al., 1978). La fenología es distintiva en las diferentes poblaciones en donde se ha observado que la floración en diferentes épocas del año es en respuesta a las precipitaciones de diferentes sitios (Castellanos et al., 1978; Matthews, 1994; Valdez et al., 2010).

Características ecofisiológicas.- Se restringe a vivir en los sitios con escorrentía perennes tales como el márgenes de arroyo (Valdez et al., 2010). Se adapta a climas muy áridos (Valdez et al., 2010), pudiendo tolerar las fluctuaciones de temperatura extremas diarias, desarrollándose a temperaturas de 43-46 °C (Castellanos et al., 1978; Matthews, 1994), e inclusive tolerando hasta temperaturas alrededor de los 50 °C (Medina-Juárez et al., 2008; Valdez et al., 2010), y a temperaturas tan bajas como -9 °C, y por debajo de estas temperaturas puede producirse daño foliar y mortandad en plántulas (Castellanos et al., 1978; Castellanos et al., 1990; Matthews, 1994). Otra adaptación es la gran capacidad de tolerar la sequía (Valdez et al., 2010), siendo fisiológicamente activos todo el año (Matthews, 1994), deshaciéndose de las hojas solo en años de sequía extrema (Castellanos et al., 1978). Prospera en cultivos tradicionales, pero no en donde las precipitaciones son abundantes, ya que pueden anegar el suelo (García-Penela, 2007). El aceite de semilla de jojoba, es una cera líquida (Medina-Juárez et al., 2008), químicamente similar a la del aceite de ballena, pudiendo sustituirlo en muchos procesos (Matthews, 1994). El tiempo de vida es mayor de 100 años y puede superar los 200 años (Matthews, 1994).

La apariencia física varía en diferentes ambientes, la forma más erecta se encuentra generalmente en sitios húmedos, mientras que la forma semiprostrada se encuentra en los sitios desérticos (Matthews, 1994). Presenta polimorfismo en las semillas, ya que es una importante estrategia de adaptación en contra de la heterogeneidad y la imprevisibilidad del desierto al medio ambiente (García-Penela, 2007). El reclutamiento de plantas nuevas en la población es extremadamente pequeño, dados los altos índices de mortalidad por efecto de la sequía del lugar y la gran herbívora a sus semillas y plántulas (Castellanos et al., 1990). Se dispersa en las zonas donde la precipitación anual es inferior a 100 mm al año, creciendo óptimamente en las zonas que reciben más de 300-450 mm de lluvia al año, lo que corresponde a la mitad o a un tercio de lo que requiere un cultivo tradicional.

Distribución actual.- La especie es endémica de Norteamérica, se encuentra en el desierto Sonorense (Costa Pacífico al norte de México) que es más abundante en la zona centro y norte-noroeste del estado (Valdez et al., 2010), en la vegetación de chaparral mediterráneo en Baja California (Martínez, 1969) y California en Estados Unidos, y en Baja California Sur hasta el desierto del Vizcaíno (Schneid, 1907; García, 2007). Se distribuye en zonas por debajo de los 1,600 msnm (Schneid, 1907; SEINet, 2010).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 32), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

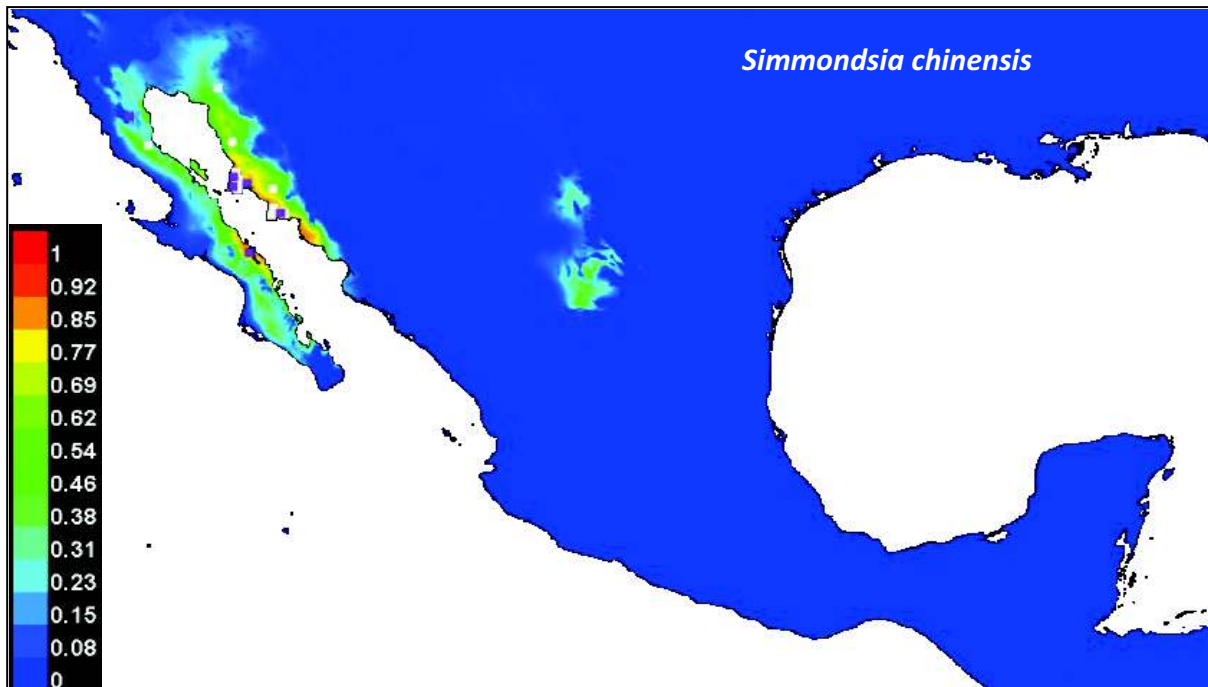


Figura 32. Distribución potencial de *Simmondsia chinensis* mediante modelo de nicho.

Se puede observar que la especie se distribuye en el noroeste del país, principalmente en el litoral de Sonora y Baja California Sur, coincidiendo con la literatura. Se puede también observar en el mapa una mancha de color azul-verde en el desierto Chihuahuense, donde es muy poco probable encontrar la especie, pero sin embargo las variables ambientales requeridas para esta especie coinciden con las de esa zona del país.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que la probabilidad de idoneidad del modelo fue de 0.995%, lo cual nos indica que su distribución fue muy bien modelada por MaxEnt, contando con 36 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios consultados. La distribución potencial que se muestra en el mapa fue modelada idóneamente, observándose en el mapa que la distribución potencial es muy extendida ya que los pocos puntos geográficos se encontraron dispersos tanto en el estado de Sonora, Baja California y Baja California Sur, incluyendo regiones mostradas por el modelo dentro del desierto Chihuahuense, pudiendo haber sobreestimado la predicción en este aspecto.



Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. *Simmondsia chinensis*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación anual (mm)	39.1
Precipitación del cuatrimestre seco (mm)	23.8
Oscilación diurna de la temperatura	17.9

Esto nos dice que las variables de precipitación del cuatrimestre seco y la oscilación diurna de la temperatura, contribuyeron en más del 40% a la explicación del modelo generado por MaxEnt, sin embargo un porcentaje similar (39.1 %) de la explicación del buen ajuste, fue debido a la precipitación anual, lo que determina un ajuste mayor del 80% explicado por las tres variables.

## VII.5. Especies que se están Utilizando para Producción en Agroecosistemas con Fines Bioenergéticos

### VIII.5.1. *Jatropha curcas* L.



Figura 33. Detalle del fruto de piñón (*J. curcas*). Fuente: Viveros Genfor, 2010.

Descripción taxonómica.- Arbusto perenne, monoico con hojas caducifolias, ramas flexibles que exudan un látex translúcido. Mide más de 2 m de altura, alcanzando hasta los 8 m, con corteza blanca-grisácea. Los tallos crecen con discontinuidad morfológica, el grosor del tronco es de 20 cm con crecimiento desde la base en distintas ramas, normalmente se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas. Las hojas de 10-15 cm de ancho, glabras, ovaladas normalmente se forman con cinco a siete lóbulos lisos acuminados, poco profundos, grandes con pecíolos largos de 10-15 cm. La planta produce inflorescencias terminales tipo racimo, con flores femeninas y masculinas en la misma inflorescencia. Cada inflorescencia produce una a 5 flores femeninas y 25 a 93 flores masculinas. Ambos tipos de flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-8 mm), verdoso-amarillo y pubescentes. El fruto es elipsoidal, largo de 2 a 3 centímetros de ancho. Al inicio del desarrollo de frutos son cápsulas

verdes y carnosas, volviéndose a café oscuro a negro y dehiscentes al madurar. Las semillas están maduras cuando el fruto cambia de color del verde al amarillo, son almendras negras, cada una aproximadamente de 2 centímetros de largo y un centímetro en el diámetro (Sierra-Bernal et al., 2007).

Fenología.- Normalmente la floración es en Mayo-Julio y la fructificación de Julio-Octubre. La floración ocurre después de las épocas de lluvia, el desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla. Su ciclo productivo se extiende de 45 a 50 años (Sierra-Bernal et al., 2007).

Características ecofisiológicas.- La planta empieza a producir semillas desde el primer año, aunque con rendimientos bajos y éstos se incrementan durante los primeros cinco años y luego se estabilizan. Se dice que la planta presenta tolerancia a suelos pobres, con rápido crecimiento en condiciones de baja fertilidad y resistencia a la sequía en zonas semiáridas tropicales, que es de fácil propagación y su adaptabilidad permite su cultivo en una amplia gama de ambientes, incluso en suelos degradados, mostrando baja susceptibilidad a enfermedades y plagas (Sierra-Bernal et al., 2007). A nivel mundial se ha reportado el aprovechamiento de su aceite como el más frecuentemente utilizado en este género para la producción de biocombustibles, pero al ser una planta adaptada a condiciones tropicales, sus requerimientos hídricos y de temperatura no pueden ser satisfechos en las condiciones prevalecientes en el desierto (Mishra, 2009), donde la precipitación apenas sobrepasa los 300 mm anuales y en verano la temperatura es superior a los 45 °C.

Distribución actual.- Es nativa del sur de México, pero se encuentra de manera silvestre en Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (Martínez, 1969). Se desarrolla en climas tropicales y semi-tropicales, normalmente en suelos arenosos y salinos, puede crecer en la tierra pedregosa, inclusive puede crecer en las hendeduras de piedras, resiste normalmente al calor aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera. La especie está adaptada a condiciones especiales de precipitación y temperatura principalmente (480-2,380 mm; 18-28.5 °C) (Kheira et al., 2008).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 34).

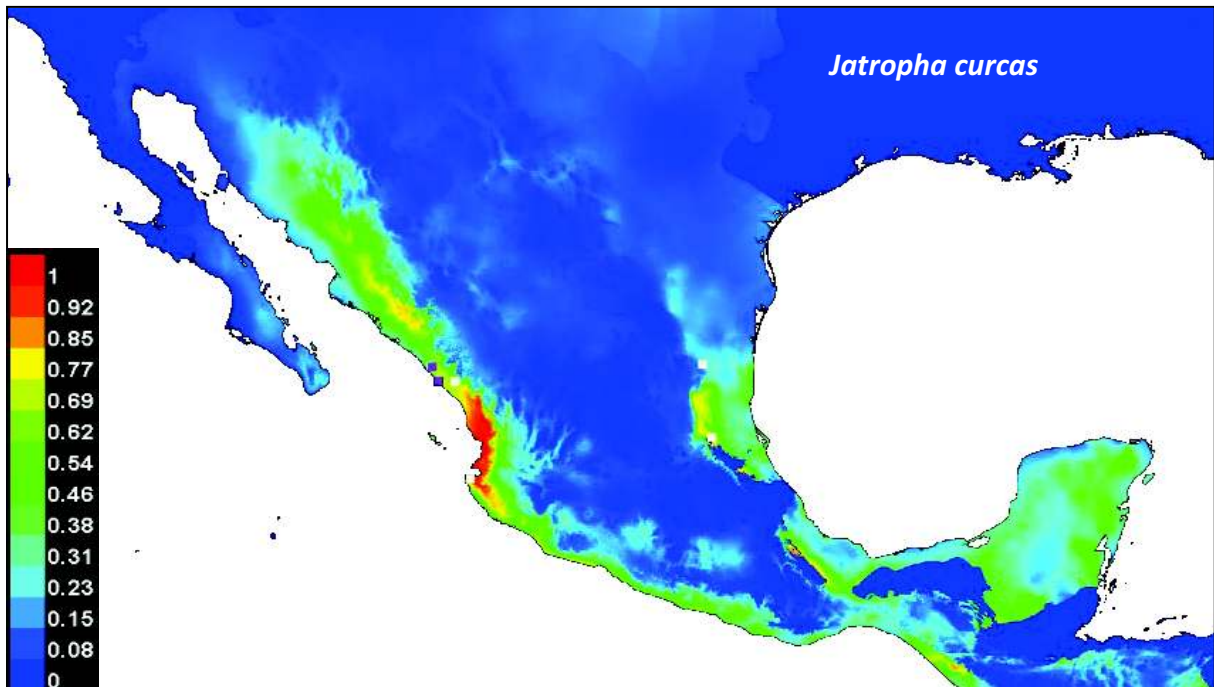


Figura 34. Distribución potencial de *Jatropha curcas* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa que la probabilidad de que se encuentre la especie en las regiones desérticas de México es muy baja, mostrando una gama de posibilidades de distribución en los litorales de México, con mayor probabilidad de que se encuentre en las costas de Nayarit y Jalisco.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que tan confiable fue la predicción de la distribución potencial de la especie, mostrando una probabilidad del 0.959% lo cual nos indica que la distribución potencial fue regularmente modelada, en base a los datos que se corrieron en el programa, que fueron solamente 9, obtenidos de las bases de datos de SEINet y REMIB. El modelo de nicho no es muy realista ya que son muy pocos puntos geográficos y está sobre-estimando gran parte de esta área de distribución.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XIX.

Tabla XIX. *Jatropha curcas*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Precipitación del cuatrimestre cálido (mm)	58.3
Precipitación del periodo más seco (mm)	26.1
Temperatura promedio anual (°C)	8.6

Las variables de precipitación del periodo más seco y temperatura promedio anual, así como la precipitación del cuatrimestre más cálido determinan una explicación superior al 92 % del modelo, lo que permite determinar la predicción de la distribución potencial de la especie con una certidumbre importante, a pesar del número limitado de colectas disponibles.

#### VII.5.2. *Ricinus communis* L.



Figura 35. Inflorescencia y fruto de Higuierilla (*R. communis*). Fuente: Carlos A. Alvarez G., 2008.

Descripción taxonómica.- Arbusto perenne, monoico (Shreve et al., 1964), a veces en forma de árbol, 1-3 m de altura (Vibrans, 2004), raramente alcanzando 10 m (SEINet, 2010; Shreve et al., 1964). Tallos glabros a escabrosos, savia clara con tronco ascendente a erecto de 2.5-3 cm de diámetro, ramificado por encima de las hojas (SEINet, 2010). Las hojas 1-5 cm de diámetro, simples, caducas, alternas, palmadas, lobuladas, con márgenes dentados, pecíolados, caulinares, peltadas, estípulas fusionadas de 1-1.5 cm (Vibrans, 2004; SEINet, 2010). Inflorescencia en forma de panícula terminal, muchas flores pequeñas de 1-3 cm de diámetro (SEINet, 2010). Las flores masculinas se encuentran por debajo de las flores pistiladas, estaminadas de tres a cinco sépalos (Shreve et al., 1964), cuenta con numerosos estambres, filamentosos ramificados (Vibrans, 2004). El fruto es una cápsula globosa a menudo espinosa ovoide de color rojizo (SEINet, 2010). Semillas de 9- 22 mm de diámetro, lisas, brillantes, con cicatriz con apéndices (SEINet, 2010), moteada de gris y marrón oscuro o negro, con una notable carúncula de 1.5 a 2.5 mm de largo, 1.5-3 mm de ancho (Shreve et al., 1964).

Fenología.- La floración es durante todo el año (Shreve et al., 1964), cuando existen las condiciones ambientales favorables para su óptimo crecimiento.

Características ecofisiológicas.- Es una planta exótica (Vibrans, 2004), con todo las implicaciones que representa una planta que no sea nativa, ya que puede competir por el nicho de otra planta volviéndose una invasora. Las semillas son utilizadas por su contenido importante de aceite, aunque son venenosas (Goytia-Jimenez et al., 2011; Vibrans, 2004). Se adapta muy bien en sitios con bastante disponibilidad de agua y en suelos insaturados. Es una especie que está adaptada a desarrollarse en temperaturas cálidas sin heladas, donde se distribuye en un rango tropical (Martin et al., 1998; Camacho-Villalobos et al., 2007), por tal razón sus requerimientos hídricos y de temperatura, no pueden ser satisfechos en las condiciones normales del desierto, donde la precipitación apenas sobrepasa los 300 mm anuales y en verano la temperatura es superior a los 45 °C (Camacho-Villalobos et al., 2007).

Distribución actual.- Se encuentra como maleza en zonas de cultivos en todo México, en zonas alteradas, campos, y como ruderal a lo largo de los caminos (SEINet, 2010). Planta escapada de cultivo que se ha establecido a lo largo de los cursos de agua y cerca de las viviendas en todas las zonas templadas y subtropicales (Shreve et al., 1964).

Distribución potencial.- El resultado del modelo de nicho, se puede observar en el mapa (Figura 367), mostrando la distribución potencial de la especie, en el país (alta = rojo; baja = azul).

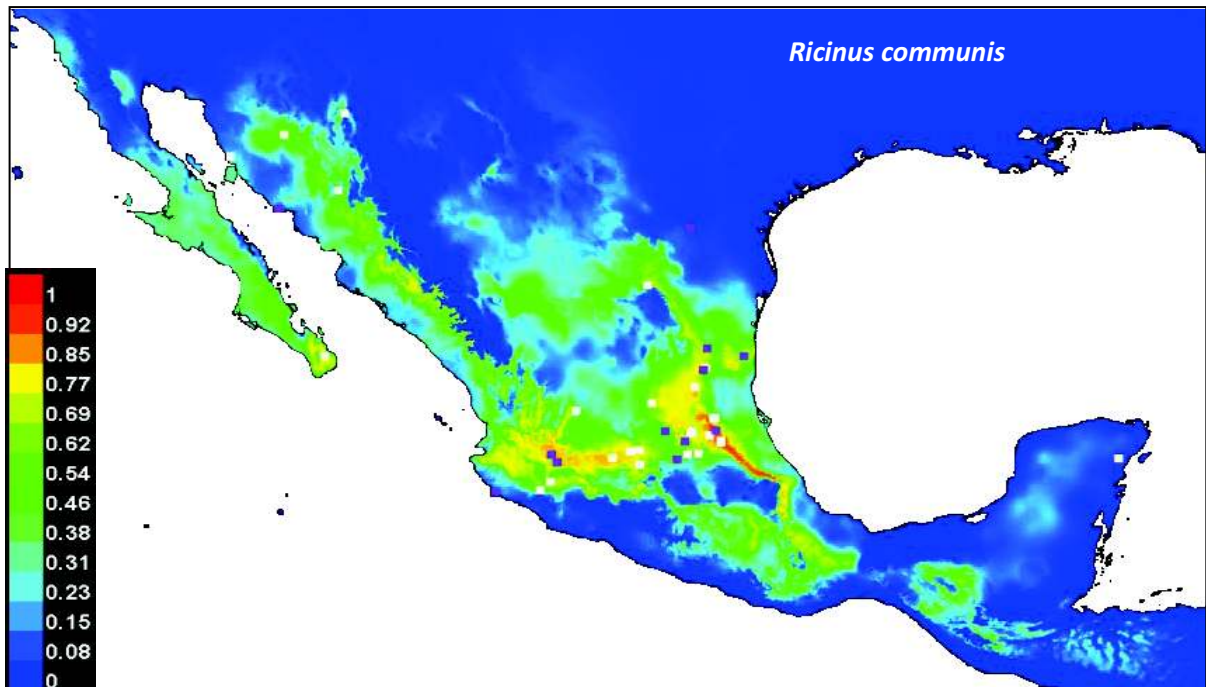


Figura 36. Distribución potencial de *Ricinus communis* mediante modelo de nicho.

Se puede observar en el mapa que la probabilidad de que se encuentre la especie es muy amplia, mostrando una gama de posibilidades de distribución en la zona central-transversal de México, con mayor probabilidad de que se encuentre en las costas de Jalisco, San Luis Potosí e Hidalgo. Se encuentra en los desiertos Chihuahuense y Sonorense, en particular en sus porciones más tropicales.

Evaluación del modelo.- En base al análisis estadístico, el gráfico ROC muestra que la probabilidad del 0.950%, lo cual nos indica que la distribución potencial fue regularmente modelada, en base a los datos que se corrieron en el programa, con un total de 43 registros geográficos de colectas en los distintos herbarios. Probablemente el modelo este sobreprediciendo el área de distribución de la especie, ya que los puntos geográficos se encuentra dispersos tanto en el norte como el centro del país, pudiendo generarse una estimación incorrecta por las grandes distancias y pocos registros disponibles.

Las variables ambientales que intervinieron en mayor medida para calcular la distribución de la especie modelada se muestran en la tabla XX.

Tabla XX. *Ricinus communis*. Contribución de las principales variables ambientales a la distribución potencial de la especie.

Variable	Contribución (%)
Isotermalidad (°C) (Cociente entre parámetros 2/7)	36.8
Temperatura promedio del cuatrimestre frío (°C)	34.1
Precipitación del periodo más lluvioso (mm)	6.1

El 77 % de la explicación del modelo es debido a tres variables, temperatura promedio del cuatrimestre frío, precipitación del periodo más lluvioso, y la isotermalidad definido como el coeficiente de variación entre la oscilación diurna y anual de la temperatura. Esto significa que climas poco variables en la oscilación térmica son preferidos por esta especie.



## VIII. DISCUSIÓN

### VIII.1. Especies Aptas para Bioenergía

La información que se generó en este trabajo es de gran impacto, ya que se muestran 14 especies que pueden ser útiles para utilizarse con fines de bioenergía, siendo más factibles para la generación de biodiesel por sus determinaciones de cantidad de aceite en semillas (Castellanos et al., 2011). Esta información generada también puede ser útil para realizar futuras investigaciones estimulando la creación de mayor cantidad de trabajos con propuestas de nuevas especies que pudieran ser apropiadas para crear nuevas alternativas de energía renovable.

El principal factor a considerar en la búsqueda de nuevas alternativas bioenergéticas a partir de fuentes vegetales es evitar que compitan con la industria alimenticia, como el caso del maíz para bioetanol y del aceite de soya para biodiesel (Medina-Juárez et al., 2008). Otro de los aspectos importantes es proponer nuevas especies que estén adaptadas a las condiciones climáticas en donde se establecerán su uso o los agroecosistemas en los que se establecerán. En este trabajo se proponen especies que además de presentar un gran potencial para la generación de bioenergía y biocombustibles, dada la concentración de aceites en sus semillas, están adaptadas a vivir a condiciones de aridez, pudiendo ser especies propuestas para establecerlas tanto en agroecosistemas como en sitios degradados, o cosechar sus poblaciones naturales en el campo, dentro de las zonas áridas y semiáridas de Sonora y México. Su distribución actual dentro de dichas regiones de México permite que sea factible su establecimiento en condiciones limitantes de escasez de agua y elevadas temperaturas, que se puedan desarrollar adecuadamente en una amplia gama de envoltentes y tipos de climas, y que sea factible su utilización en implementar agroecosistemas y sistemas agro-silvícolas adecuados para su uso y cosecha en las zonas áridas del país.

A pesar de la inexistencia o poca información, se detallo la descripción taxonómica, características ecológicas, su distribución actual y potencial, para las especies seleccionadas en este trabajo, este estudio generó y sintetizó información considerable sobre las especies con

potencial para la generación de bioenergía, lo que hace que este trabajo sea pionero en sus enfoques y alcances.

## **VIII.2. Distribución de Especies**

Conocer exactamente los sitios donde se distribuyen las especies, y sus determinantes, es muy complejo, ya que se requieren arduos estudios en campo y estar muestreando territorios geográficamente extensos, para poder establecer su distribución. Este trabajo es de gran relevancia, ya que pudimos conocer la distribución potencial de la especie sin necesidad de estudios de campo y fue de fácil y rápido uso. También existen sistemas de información geográfica (SIG) que facilitan el estudio, para conocer o predecir la distribución de las especies animales o vegetales. Las observaciones en estos últimos 15 años sobre el avance en el desarrollo de algoritmos para modelar los nichos ecológicos de las especies es vertiginoso (Araujo, 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008), siendo lo que permitió incrementar el conocimiento de la distribución potencial de estas especies estudiadas, volviéndose de gran importancia para el progreso de estrategias como la conservación de especies, los estudios de biogeografía, la ecología, sistemática, paleoecología, manejo de vida silvestre, cambio climático, salud pública y el desarrollo sostenible (Soberón et al., 2005; Araujo, 2006; Peterson, 2006; Souza-Muñoz et al., 2009).

Estos métodos de modelación, estimaron la distribución de especies en el espacio geográfico, pudiendo principalmente ser útiles en la comprensión de su distribución posible en el espacio ecológico (Peterson, 2006), variando ampliamente sus aplicaciones basados en los distintos objetivos, productos y requisitos deseados. Aunque el uso más frecuente de estos modelos de nicho es en biogeografía, para predecir o modelar áreas de distribución geográfica de un taxón (Illoldi-Rangel et al., 2008), en este trabajo de tesis, nuestro propósito fue corroborar para especies con uso conocido (o potencial de uso), las áreas geográficas en las cuales pueden ser utilizadas con fines bioenergéticos, de lo cual pudimos darnos cuenta que las especies poseen capacidad de establecerse o encontrarse fuera de los márgenes de las especies colectadas y que en un futuro podamos saber porque se distribuyen de esa forma o porque potencialmente puede distribuirse. Los modelos de nicho nos permiten combinar

información, para proponer los mejores envolventes geográficos en los que la especie en cuestión puede ser encontrada y utilizada directamente, o introducida y aprovechada en condiciones de mayor sustentabilidad que las consideradas en los cultivos convencionales.

### **VIII.3. Modelos de Nicho**

El nicho ecológico de un organismo es definido como un hiper-volumen de n-dimensiones, donde cada dimensión corresponde a factores bióticos y abióticos con los cuales cualquier organismo se relaciona en un tiempo y espacio determinado, involucrando todos los recursos presentes del ambiente, las adaptaciones de los organismos y sus interrelaciones (Peterson, 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008). Los factores que determinan las áreas geográficas en las que se encuentra una especie son muchos (capacidades evolutivas de la especie, procesos de extinción, barreras geográficas, proceso de especiación, etc.) (Illoldi-Rangel et al., 2008), interviniendo factores abióticos, incluidos los aspectos del clima, entorno físico y las condiciones edáficas, que imponen los límites fisiológicos de las especies o capacidades de persistir en un área y los factores bióticos consisten en el conjunto de interacciones con otras especies que modifican la capacidad de la especie para mantener las poblaciones, pudiendo ser interacciones positivas (por ejemplo, facilitación, mutualismo, dispersores de semillas, polinizadores) o negativas (por ejemplo, competencia, depredación), mejorando, limitando, o afectando su distribución (Soberón et al., 2005; Peterson, 2006). Siendo estos dos factores los principales elementos que intervienen de forma dinámica y con diferentes interacciones a diferentes escalas (Soberón et al., 2005), haciendo la diferencia entre lo que es la distribución real o potencial de una especie.

En el estudio solo trabajamos con los factores abióticos, pero toma ventaja de ser el trabajo pionero por generar modelos de nicho para determinar la distribución potencial de las especies consideradas con potencial de uso para bioenergía. La distribución potencial de una especie, hace referencia al área de mayor probabilidad de que un taxón pudiera estar presente en un sitio determinado (Illoldi-Rangel et al., 2008). En la literatura los modelos de nicho ecológico, son a menudo utilizados indistintamente con los nombres “modelos de nicho ecológico” y “modelos de distribución”, e incluso conceptualmente pueden ser muy

semejantes, ya que los dos relacionan las variables ambientales con datos de presencia de la especie, pero este último se basa en valores predictivos, basadas en una respuesta estadística o teórica (Illoldi-Rangel et al., 2008). No obstante los modelos de nicho ecológicos usan la información de distribución (es decir, los casos conocidos en la muestra de la distribución real) para estimar los nichos ecológicos y de distribución potencial de especies, que a su vez proporciona un medio para comprender y prever las características ecológicas y geográficas de la biología distribucional de las especies (Soberón et al., 2005; Peterson, 2006). Así, los modelos desarrollados permitirán inferir y generar mayor conocimiento de las limitantes ecofisiológicas y ecológicas de las especies estudiadas, lo que permitirá diseñar mejores estrategias de manejo sustentable.

#### **VIII.4. Algoritmos de Máxima Entropía (MaxEnt)**

Cada uno de los diferentes algoritmos presenta un acercamiento diferente al modelado del nicho ecológico (Peterson, 2006). BIOCLIM utiliza lo que se denomina envoltura climática y para que el modelo sea factible es indispensable conocer el mayor número de variables climáticas, ya que si no se cuentan con la mayor distribución estadística de las variables climáticas, su ausencia puede influenciar erróneamente en la distribución potencial de la especie (Illoldi-Rangel et al., 2008). MaxEnt está fundamentado en el concepto de máxima entropía, utilizando una aproximación mecanicista para realizar predicciones a partir de información incompleta, estimando la distribución más uniforme a lo largo del área de estudio con la restricción de variables ambientales (Phillips et al., 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008). El algoritmo asegura la convergencia en una distribución probabilística óptima, y dado que no aleatoriza, los resultados son determinísticos (Illoldi-Rangel et al., 2008).

Los elementos para estimar la validación de la distribución potencial de las especies, es la curva ROC, siendo el elemento más importante para comprobar que tan bueno es el modelo que es plasmado en un contexto geográfico con probabilidades de cero a 1, mediante la predicción en celdas (Illoldi-Rangel et al., 2008). Actualmente el programa de modelado de nicho ecológico MaxEnt es el algoritmo más importante ya que trabaja en base a la máxima entropía (el máximo desorden) para estimar donde se encuentra una especie determinada a

partir de datos ambientales, siendo un modelo de gran confiabilidad. El modelo ofrece además muchas ventajas por requerir sólo datos de presencia, junto con la información ambiental para todo el área de estudio (Phillips et al., 2006; Souza-Muñoz et al., 2009), lo que le hace fácilmente ejecutable. Las variables utilizadas en este trabajo solo constaron de variables continuas, ya que el programa permite incorporar variables cate categóricas. Como todo, también tiene algunos inconvenientes (Phillips et al., 2006), ya que la estimación de la distribución potencial de la especie pudo haber ocupado un sitio donde por diversos factores no se encuentra. Como por ejemplo en los sitios donde se conoce históricamente que la especie no puede existir, debido a capacidades evolutivas de la especie, procesos de extinción, barreras geográficas, procesos de especiación (Peterson, 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008), lo que puede generar una distribución potencial incompleta.

La distribución potencial de las especies generadas en este trabajo fue usada directamente como los arroja el programa en el espacio geográfico. Pero para estimar las distribuciones con mayor idoneidad y aumentar la probabilidad de confiabilidad se sugiere en la literatura llevar a cabo varios pasos a seguir como: eliminar la sobre-predicción en base a recortes de esquemas de regionalización, como ecorregiones o provincias bióticas. Recortar con coberturas que incluyan algún carácter histórico, provincias fisiográficas, mapas geológicos, cuencas, etc. Recorte con cartografía que represente alguna interacción biótica (Illoldi-Rangel et al., 2008). Utilizar todas las variables que se puedan usar para que no sea una distribución potencial incompleta (Soberón et al., 2005; Peterson, 2006). Contraste con mapas de distribución actual de la especie, ya sea en búsqueda de literatura o si son áreas pequeñas de distribución realizar muestreos (Peterson, 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008). Identificación correcta de las especies en los distintos herbarios al momento de buscar en las bases de datos taxonómicas, para obtener nuestros puntos de presencia (Soberón et al., 2005), ya que por lo general esta información suele ser incompleta y sesgada en relación con la verdadera distribución espacial de la especie en el medio ambiente (Araujo, 2006). Siendo estas recomendaciones las que hacen que aumente el nivel de confiabilidad de los modelos de nicho para calcular la distribución potencial de las especies, sin embargo en este trabajo a pesar de no llevar a cabo algunas de estas recomendaciones, por la magnitud de lo que implica, el nivel de confiabilidad por parte de los mapas de distribución potencial fueron muy buenos. Este estudio en esos términos es una primera aproximación al uso de este tipo de

modelos para apoyar la toma de decisiones de un manejo más sustentable en el uso de la biodiversidad de plantas en las zonas áridas de México. Los modelos de distribución potencial generados a partir de información ambiental, proporcionaron la predicción hacia la distribución de las especies en contextos geográficos de lo cual se puede mejorar su metodología para determinar otros aspectos temporales, ecológicos (Souza-Muñoz et al., 2009), ecofisiológicos, de utilización y manejo de la biodiversidad en México.

### **VIII.5. Relación entre la Distribución de las Especies y las Variables Ambientales**

MaxEnt nos muestra las tablas donde estima que variables ambientales intervinieron en mayor medida para calcular la distribución potencial de las especies estudiadas.

Las variables que contribuyeron mayormente en la distribución potencial de las especies nativas fueron la precipitación del cuatrimestre seco (PSC), la estacionalidad de la precipitación (EP), la precipitación anual (PA) y la oscilación diurna de la temperatura (ODT), de lo cual las especies exóticas no están tan influenciadas con estas 4 variables ambientales ya que *Jatropha curcas* y de *Ricinus communis* su distribución están más influenciadas por la precipitación del cuatrimestre cálido (PCC). Esto pone en evidencia que los requerimientos para que se desarrolle una especie no son los mismos y por ende se refleja en su distribución ya que las contribuciones de las variables ambientales entre las especies no son los mismos y mucho menos entre especies exóticas y nativas. Proponemos especies que hagan frente a las demandas energéticas mundiales, con energías limpias y renovables, que no pongan en riesgo la industria alimenticia ni el deterioro del medio ambiente como en caso de las especies exóticas y muy en especial aprovechar las zonas áridas de Sonora y México.

Este trabajo se puede perfeccionar mediante la introducción no solo de variables ambientales o abióticas, si no de variables ecológicas o bióticas (Peterson, 2006) al modelo para que nos ayude a comprender las dimensiones ambientales en las que se encuentra un taxón y que puedan validar óptimamente la distribución potencial de la especie (Araujo, 2006; Illoldi-Rangel et al., 2008), así restringiendo zonas más idóneas para la presencia o introducción de especies (Illoldi-Rangel et al., 2008) que sean útiles para la generación de bioenergía.

Tabla XXI. Contribuciones en % de las variables ambientales que intervinieron en mayor medida a la distribución potencial de las especies; Precipitación del cuatrimestre seco (mm) PCS, Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación, %) EP, Precipitación anual (mm) PA, Oscilación diurna de la temperatura ODT, Temperatura promedio del cuatrimestre lluvioso (°C) TPCLL, Precipitación del periodo más seco (mm) PPS, Temperatura promedio anual (°C) TPA, Temperatura promedio del cuatrimestre seco (°C) TPCS, Isotermalidad (°C) ISO, Precipitación del cuatrimestre frío (mm) PCF, Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C) TMPPF, Oscilación anual de la temperatura (°C) OAT, Temperatura promedio del cuatrimestre frío (°C) TPCF.

Especies	PCS	EP	PA	ODT	TPCLL	PPS	PCC	TPA	TPCS	ISO	PCF	TMPPF	OAT	TPCF
NATIVA														
<i>Amaranthus palmeri</i>	35	12.8	13.8											
<i>Encelia farinosa</i>	17.3		29.7						27					
<i>Helianthus annuus</i>		11.9		36.6		17.1								
<i>Bursera laxiflora</i>	21.9	30.4			16.1									
<i>Salicornia bigelovii</i>			31		28.7	32.1								
<i>Cucurbita digitata</i>	22.6			31.3						18.1				
<i>Cucurbita foetidissima</i>			17.2	10.9				18.2						
<i>Ibervillea sonora</i>	26	18.9			37.8									
<i>Jatropha cardiophylla</i>		31.8			23.1							24.2		
<i>Jatropha cinerea</i>	36.2		22		13.1									
<i>Jatropha cordata</i>	19.2	34.4											9.7	
<i>Olneya tesota</i>	26.6			18.2					17					
<i>Prosopis velutina</i>		34.8		31.4							13.2			
<i>Simmondsia chinensis</i>	23.8		39.1	17.9										
EXOTICA														
<i>Jatropha curcas</i>						26.1	58.3	8.6						
<i>Ricinus communis</i>							6.1			36.8				34.1

#### IV. CONCLUSIONES

El trabajo propone la inclusión metodológica de los modelos de nicho para la determinación de la distribución potencial de especies que tienen posibilidades de uso para bioenergía. El uso de modelos de nicho para las especies de zonas áridas y semiáridas de México con potencial de uso como fuente o insumo para bioenergía, permitieron determinar las regiones de mayor potencial para encontrar, y consecuentemente para utilizar, establecer, restaurar o efectuar desarrollos sustentables de una o varias especies en particular.

El uso de modelos de nicho es factible y de gran relevancia, ya que nos aproximó a las áreas de distribución de las especies en base a la contribución de las variables ambientales y al complementar el conocimiento de sus principales características fenológicas y ecológicas, podemos implementar usos sustentables de especies adaptadas a vivir en condiciones de aridez. El uso de estas especies para fines bioenergéticos, pueden permitir hacer frente a la demanda de combustibles y contribuir a revertir la gran crisis energética que se avecina para el país, y para el mundo el mundo en general. Las especies pueden suplir las demandas energéticas ya sea produciendo para generar bioetanol o biodiesel en los agroecosistemas de las principales zonas áridas del país e inclusive aprovecharlas ya sea cosecharlas directamente del campo o utilizándolas para la recuperación de sitios degradados.

Indudablemente, la riqueza natural de nuestro país representa una fuente importante de nuevos cultivos para diversos usos potenciales. Es muy importante conocer lo que tenemos en el país, teniendo en cuenta que las especies no responden igual a las diferentes variables ambientales, ya que una especie que no es propia de un hábitat puede adaptarse, pero el proceso de adaptación, a corto, mediano o largo plazo, implica un cambio que puede ser favorable o desfavorable para la especie en el nuevo sitio de establecimiento. Tal es el caso de la generación de biocombustibles a partir de *Jatropha curcas* y de *Ricinus communis*, son plantas no endémicas de zonas áridas, con mayor distribución actual en ambientes más tropicales y de mayor disponibilidad de agua, por que sus características y limitaciones ecológicas podrían ser contraproducentes al ser introducidas a la producción en regiones áridas y semiáridas.



Las especies modeladas con potencial para la generación de bioenergía en las zonas áridas de Sonora y México, cuya distribución potencial fueron estimadas mas adecuadamente mediante mi criterio fueron: *Salicornia bigelovii*, *Ibervillea Sonorae*, *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cinerea*, *Prosopis velutina* y *Simmondsia chinensis* en base a la probabilidad estimada por los modelos de nicho ecológico. También podemos concluir que especies como *Encelia farinosa*, *Bursera laxiflora*, *Cucurbita digitata*, *Cucurbita foetidissima* y *Olneya tesota* fueron bien modeladas, aunque con la probabilidad de la distribución potencial un poco menor, debido a que los modelos se corrieron sin separar los puntos geográficos que se encontraban muy dispersos y envolventes climatológicos muy diferentes, lo que pudo haber influido en la sobreestimación del modelo. Lo mismo sucedió para *Jatropha cordata*, en donde se analizaron juntos los puntos geográficos de las poblaciones encontradas en el desierto Sonorense y las encontradas en regiones más tropicales. Dado este antecedente, pudiera pensarse que los modelos con un menor ajuste fueron aquéllos de especies de amplia distribución (mayor números de registros geográficos) o con poblaciones disyuntas. Tal fue el caso también de los modelos que mostraron la más baja probabilidad y un ajuste poco idóneo del modelo como fueron *Amaranthus palmeri* y *Helianthus annuus*, ya que a diferencia de otras especies con más alta idoneidad, contaron con gran numero de registros y sin embargo bajaron los porcentajes de probabilidad en la ROC. Estos modelos probablemente sobreestimaron aéreas de distribución, ya que existían puntos geográfico muy dispersos, pero a pesar de los criterios con que se evaluaron los modelos de las distribuciones potenciales de las especie, todos tuvieron probabilidades superiores a los 0.950. Basándome en este criterio en base a las probabilidades estimadas por los estadísticos de la curva ROC, establecí como regular los modelos con 0.950 a 0.970 de probabilidad de ajuste, bueno, de 0.971 a 0.990 y muy bueno, de 0.991 a 1.000.

El método de máxima entropía (MaxEnt) nos aproximó a las aéreas de distribución de las especies modeladas en base a 14 de las 19 variables ambientales utilizadas en este estudio, contribuyendo en mayor medida hacia la distribución potencial de las especies nativas las variables ambientales siguientes: precipitación del cuatrimestre seco (PSC), estacionalidad de la precipitación (EP), precipitación anual (PA) y oscilación diurna de la temperatura (ODT), siendo estas especies viables en base a la información ambiental para implementarlas en

agroecosistemas con fines bioenergéticas o para recuperar terrenos degradados en las zonas con algún grado de aridez en nuestro país.

Las zonas áridas y semiáridas de México y el mundo tan ampliamente representadas en el espacio geográfico del país y del globo, respectivamente, así como los sitios de mayor pobreza y marginación, la determinación de nuevos cultivos para producción de bioenergía a partir de especies adaptadas a las condiciones de aridez, representa una alternativa viable, la cual debe seguir mejorándose y cristalizando, mediante la investigación que debe estarse generando diariamente.

## V. LITERATURA CITADA

- Alcaraz, A. F. 2011. Desiertos y semidesiertos. *Geobotánica*, Creative Commons 24: 1-15.
- Aráujo, M. B. y A. Guisan. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modeling. *Journal of Biogeography* 33: 1677–1688.
- Arias, L. A., F. Arbeláez y J. Ortega. 2006. Estrategia de desarrollo de biocombustibles: Implicaciones para el sector agropecuario. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia 16.
- Arizona-Sonora Desert Museum. 2006. Arizona-Sonora Desert Museum. Research and Conservation in Southern Sonora, Mexico. *Bursera laxiflora* (torote prieto, torote papellío). Report update July 20, 2011. ([http://www.desertmuseum.org/programs/alamos\\_trees\\_burlax.php](http://www.desertmuseum.org/programs/alamos_trees_burlax.php)).
- Ayerza, R. 2009. The seed's protein and oil content, fatty acid composition, and growing cycle length of a single genotype of chia (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental factors. *Journal of Oleo Science* 58:347-354.
- Barraza, L. N. 2007. Análisis comparativo de la elaboración de biodiesel, a partir de aceite crudo de palma africana por medio de dos procesos, a nivel laboratorio y planta piloto. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala 72.
- Beaumont, L. J., L. Hughes, and M. Poulsen. 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling* 186: 250-269.
- Becerra, J. X. y D. Lawrence-Venable. 1999. Nuclear ribosomal DNA phylogeny and its implications for evolutionary trends in Mexican *Bursera* (Burseraceae). *American Journal of Botany* 86 (7): 1047-1057.
- Bozbas K. 2005. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12.
- Brito, C., M. A. Crimmins y S. Díaz. 2010. Clima. En: Molina F. y Van Devender. T. (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México – CONABIO. México, D. F.
- Brown, D. E. y R. A. Minnich. 1986. Fire and changes in creosote bush scrub of the western Sonoran Desert, California. *American Midland Naturalist* 116(2): 411-422.

- Camacho-Villalobos, A., L. Soares-Severino y J. M. del Aguila Sabel. 2008. Evaluación de cuatro cultivares de higuera (*Ricinus communis* L.) en la selva del perú regiqn Ucayali 2007. III Congreso Brasileiro de MAMONA. Energía e Bioquímica. (<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/277304/1/MG17.pdf>).
- Castellanos, A.E., M. Espiricueta y X. Murrieta. 1978. Manejo y fenología de poblaciones silvestres de jojoba en Sonora, México. III International Conference on Jojoba. Riverside, California. September, 1978.
- Castellanos V, A. E. 1980. Taxonomía y distribución de la calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima*) en Sonora. 4-13. en: Arturo Ruíz M. Ed. La calabacilla loca. CICTUS UNISON 36.
- Castellanos, A.E. y F. Molina. 1990. Differential survivorship and establishment in *Simmondsia chinensis* (jojoba). *Journal of Arid Environments* 19: 65-76.
- Castellanos-Villegas, A. E.; Bravo, L. C.; Koch, G. W.; Llano, J.; Lopez, D.; Méndez, R.; Rodriguez, J. C.; Romo, R.; Sisk, T. H. y Yanes-Arvayo, G. 2009. Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semiáridos. En: Molina-Freaner, F. y Van Devender, T. R. (Eds.), *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM. México 157-186.
- Castro P., P. Villar y G. Montserrat. 2001. Adaptaciones de las plantas leñosas al clima mediterráneo: estrategias para afrontar el frío invernal y la sequía estival. *Quercus* 186: 28-33.
- CONABIO. 2008. Diversidad biológica de tierras áridas y sub-húmedas en México. Reporte de actualización 19 de abril 2011. ([http://www.conabio.gob.mx/96operacin/96operacin\\_internacional/doctos/dbt\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/96operacin/96operacin_internacional/doctos/dbt_mexico.html)).
- CONABIO. Sf. *Simmondsia chinensis* (Link) C.K. Schneid. 1907. Pblicado en: *Illustriertes Handbuch der Laubholzkunde* 2 (141): 77-82. ([http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/18-simmo1m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/18-simmo1m.pdf)).
- Coviello, M. F., J. J. Gómez, C. Razo y A. Rodríguez. 2008. Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe. *Cepal-colección documentos de proyectos* 187.
- Dalling, J. W. y S. P. Hubbell. 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology* 90: 557-568.
- Dehgan, B. 1982. Novel *Jatropha*s for Florida landscapes. *Proceedings Florida State Horticultural Society* 95: 277-280.
- Dehgan, B. y G. L. Webster. 1979. Morphology and infrageneric relationships of the genus *Jatropha* (Euphorbiaceae). *University of California Publications in Botany* 74: 73.

- Dimmitt, M. A.. 2000. A Natural History of the Sonoran Desert. ASDM Press, Report update march 15, 2006 (<http://www.desertmuseum.org/>).
- Dimmitt, M. A. 2000. *Cucurbita digitata*. Sonoran desert digital library. Report update june 15, 2010. (<http://www.desertmuseumdigitallibrary.org/public/detail.php?id=ASDM09481&sp=Cucurbita%20digitata>).
- Durán, E., L. Galicia, E. A. Pérez G. y L. Zambrano. 2002. El paisaje en ecología. Ciencias, 67:44-54.
- Ehleringer, J. 1983. Ecophysiology of *Amaranthus palmeri*, a Sonoran Desert summer annual. Oecologia (Berlin) 57: 107-112.
- Ehleringer, J. R. 1988. Comparative ecophysiology of *Encelia farinosa* and *Encelia frutescens* I: Energy balance considerations. Oecologia 76: 553-561.
- Escalante, L. H. 2008. Programa de Introducción de Bioenergéticos. SENER, Secretaría de Energía, Gobierno Federal 38.
- Felix-Gotobopicio, M., S. Pluma B., M. Matus-Tadeo, M. R. Urzua y S. Matus. 2009. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana UNAM. Reporte de actualización 30 de febrero del 2005. ([http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/flora2.php?l=4&t=&po=&id=6693&clave\\_region=8](http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/flora2.php?l=4&t=&po=&id=6693&clave_region=8)).
- Fernández, C. A. 2001. Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM. Universidad de Valladolid, Valencia 86.
- Flores-Tena, F. J. 1992. Atributos ecológicos y aprovechamiento del mezquite 24-30.
- Forseth, I. N.; Ehleringer, J. R.; Werk, K. S. y Cook, C. S. 1984. Field water relations of Sonoran Desert annuals. Ecology 65 (5): 1436-1444.
- García-Penela, J. M. 2007. Selección de indicadores que permitan determinar cultivos óptimos para la producción de biodiesel en las eco-regiones Chaco-Pampeana de la República Argentina. Trabajo de intensificación 1-110.
- Gil-Montaña, E., P.P. Alday-Lara, G. Lavandera-Barreras, L. Bringas-Alvarado, N. Gámez-Meza y L. A. Medina-Juárez. 2010. Evaluación del potencial de semillas de *Jatropha cordata* (Ort.) Müll. Arg. y *Jatropha Cardiophylla* (Torr) Müll. Arg. como fuente de biodiesel. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. 108-123.
- Giménez, G. y C. Héau L. 2007. El desierto como territorio, paisaje y referente de identidad. Culturales III. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Méx. 57-42.

- Goytia-Jiménez, M. A., C. H. Gallegos-Goytia, C. A. Núñez-Colín. 2011. Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuerilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 41-48.
- Gómez, A. J. 1989. El cultivo del girasol. *Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación* 20 (88): 1-31.
- González, A. D. 2007. Diseño del proceso para la producción de 60 toneladas diarias de biodiesel a partir de aceite de palma refinado. Tesis de grado. Guayaquil, Ecuador.
- Google Earth, 2009. Geographic Information System. Google Earth Enterprise.
- Graham, E. Parks, Margaret A. Dietrich y Karen S. Schumaker. 2002. Increased vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. in response to NaCl. *Journal of Experimental Botany* 53 (371): 1055-1065.
- Groom, M. J., E. M. Gray y P. A. Townsend. 2007. Biofuels and biodiversity: Principles for creating better policies for biofuel production. *Conservation Biology* 10.1111/j.1523-1739 1-8.
- Gutiérrez, M. 1998. Geomorfología y Cambio Climático en Zonas Áridas. Librería General. Zaragoza 76.
- Herbario de la Universidad de Sonora. Base de datos del Herbario USON (off line): Catálogo automatizado de la colección botánica del Herbario USON. (Hermosillo): Consulta: 12 julio 2011. (Universidad de Sonora. <aguaje>, login: 'jesus').
- Hanan-Alipi, A. M. y J. Mondragón-Pichardo. 2006. *Cucurbita foetidissima* Kunth. Malezas de México. Reporte de actualización 20 de julio de 2009. (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cucurbitaceae/cucurbita-foetidissima/fichas/ficha.htm>).
- Hernández, H. 2006. La Vida en los Desiertos Mexicanos. Fondo de Cultura Económica, México 188.
- Hernández, L.F. y G. A. Orioli. 1994. El ideotipo del girasol (*Helianthus annuus* L.) *Agriscienta* XI: 87 -98.
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky y T. Douglas. 2006. Environmental, economic, and energetic cost and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 103: 11206-11210.

- IAASTD. 2009. Bioenergía y biocombustibles: Oportunidades y limitaciones. Reporte de actualización 21 de abril del 2011 (<http://www.agassessment.org/docs/bioenergyESlowres.pdf>).
- Illoldi-Rangel, y T. Escalante. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía* 3: 7-12.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Contexto Nacional. México cuarta comunicación Nacional 33-59. Reporte de actualización febrero del 2010 (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve.aspx>).
- Jepson Herbarium. 2006. Report update juncary 2006. ([http://ucjeps.berkeley.edu/cgi-bin/get\\_JM\\_treatment.pl?609,1067,1070](http://ucjeps.berkeley.edu/cgi-bin/get_JM_treatment.pl?609,1067,1070)).
- Johanes, B. H. y S. Hirata. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology* 99: 1716-1721.
- Kane, C. W. 2006. *Herbal Medicine of the American Southwest: A Guide to the Medicinal and Edible Plants of the Southwestern United States*. Ed. Lincoln Town Press 1-307.
- Kearney, T. H. y R. Hibbs-Peebles. 1960. *Arizona flora*. University of California Press 2: 1085.
- Kheira, A. A. A. Y N. M. M. Atta. 2008. Response of *Jatropha curcas* L. To water déficit: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy* 33(10): 1343-1350.
- Lambers, H., F. S. Chapin y T. L. Pons. 2008. *Plant physiological ecology*. Springer, New York 604.
- León, J. L., R. Coria B. y M. Cruz E. 1996. Fenología floral de una comunidad árido-trópical de Baja California Sur, México. *Acta botánica Mexicana* 35: 45-64.
- León, J. 1987. *Botánica de los cultivos tropicales* Número 84 de Colección de libros y materiales educativos. Biblioteca Orton IICA/CATIE.
- Lira, R. y I. Rodríguez A. 2006. *Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México*. UNAM. Informe final SNIB-CONABIO proyecto DS002. México D. F.
- Lira, R. y S. Montes. 1992. Cucurbitas (*Cucurbita* spp.). En: E. Hernández-Bermejo y J. León (Eds.). *Cultivos marginados. Otra expectativa de 1492*. FAO, Jardín Botánico de Córdoba, Roma 61-75.
- Liras, E. 2008. Funcionamiento, interfaz y formato de los datos en MaxEnt. IV taller de modelización de nichos ecológicos. GBIF Modelling workshops, Madrid.

- Llano-Sotelo, J., R. González O., A. E. Castellanos-Villegas. 2003. Análisis químico proximal y contenido calórico en semillas de especies de leguminosas del desierto sonoreño. *Biotecnia* 5: 10-21.
- Marriaga, N. 2009. Indicadores de desempeño de la destilación de Bioetanol. *Dyna* 76 (159): 85-92.
- Martin S. P., Yetman D., Fishboin M., Yenkins P., Van-Devender T. R. y Wilson R.K. 1998. *Gentry's Rio Mayo Plants*. The University of Arizona Press 558.
- Martínez M. 1969. *Las plantas medicinales de México*. Vol I & II Ediciones botas. México D. F. 655.
- Martínez-Castañeda. A. T., M. G. Ramírez Sotelo y A. B. Piña Guzmán. 2011. Wereke: Un tratamiento natural para la diabetes. *InFÁRMAte* 7: 1-27.
- Matthews, R. F. 1994. *Simmondsia chinensis*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Report update July 20, 2011. (<http://www.fs.fed.us/database/feis/>).
- Medina-Juárez, L. A., A. E. Castellanos-Villegas y N. Gámez-Meza. 2008. Cultivos con potencial para obtener biodiesel en México. *Biotecnia* 10 (1): 3-11.
- Mishra, D. K. 2009. Selection of candidate plus phenotypes of *Jatropha curcas* L. Using method of paired comparisons. *Biomass and Bioenergy* 33: 542-545.
- Moles, A. T., D. D. Ackerly, C. O. Webb, J. C. Tweddle, J. B. Dickie, A. J. Pitman, y M. Westoby. 2005. Factors that shape seed mass evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102: 10540-10544.
- Mondragón, P. J. 2009. Malezas de México. En: Heike Vibrans (ed.) CONABIO. Reporte de actualización 14 de abril del 2011. (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/amaranthaceae/amaranthus-palmeri/fichas/ficha.htm>).
- Mondragón, P. J. y F. Perdomo R. 2009. *Helianthus annuus* L. Malezas de México. En: Heike Vibrans (ed.) CONABIO. Reporte de actualización 16 de agosto de 2009. (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/helianthusannuus/fichas/ficha.htm>).
- NextFuel. 2006. Biocombustibles. Wordpress. Report update April 2011. (<http://biodiesel.com.ar/que-es-el-biodiesel>).
- Ozinga, A.W., J. H. Schaminée, R. M. Bekker, S. Bonn, P. Poschlod y O. Tackenberg. 2005. Predictability of plant species composition from environmental conditions is constrained by dispersal limitation, *Oikos* 108: 555-561.



- Palacios, R. A. 2006. Los mezquites mexicanos: biodiversidad y distribución geográfica. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 41(1-2): 99-121
- Peter, K. V. 2007. Underutilized and Underexploited Horticultural Crops. New India Publishing 369.
- Peterson, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. Biodiversity Informatics 3:59-72.
- Phillips, S. J., Anderson, R.P. y Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 2006 190: 231–259
- Plagens, M. J. 1999. *Jatropha cardiophylla*. A Guide to the Flora and Fauna Arizona, USA & Sonora, México. Report update 2000. ([http://www.arizonensis.org/sonoran/fieldguide/plantae/jatropha\\_cardiophylla.html](http://www.arizonensis.org/sonoran/fieldguide/plantae/jatropha_cardiophylla.html))
- Popham, R. A. 1947. Developmental anatomy of seedling of *Jatropha cordata*. The Ohio Journal of Science 67 (1): 1-20.
- Preedy, V. R. y R. R. Watson. 2008. Botanical Medicine in Clinical Practice. Massachusetts 915.
- Putz, F. E. y H. A. Mooney. 1991. The Biology of vines. Cambridge University Press. New York 526.
- Quintero, M. O., G. Scaglia, A. Amicarelli y F. di Sciascio. 2008. Control basado en métodos numéricos para la obtención de un biocombustible. Aadeca, Semana del Control Automático, XXI Congreso Argentino de Control Automático. Buenos Aires, Argentina.
- REMIB (Red Mundial de Información Sobre Biodiversidad). 2010. Base de datos de colectas de especies. Reporte de actualización 19 diciembre, 2008. ([http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib\\_esp.html](http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html)).
- Rueda-Puente, E. O. 2003. Estudio de la fenología y potencial productivo de la halofita *Salicornia bigelovii*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del noroeste, S. C. Programa de estudios de posgrado. La Paz, Baja California Sur, México.
- Ruiz, Á. C. 2001. Efecto hipoglucémico producido por la administración crónica de la raíz de *Ibervillea sonora* en ratas. Tesis licenciatura. Ciencias biológicas y de la Salud. Unidad Iztapalapa, UNAM.
- Rzedowski, J. y G. Calderón de R. 2000. Tres especies nuevas de *Bursera* (Burseraceae) de la región costera del Occidente de México. Acta Botánica Mexicana 50: 47–59.

- Rzedowski, J., R. Medina-Lemos y G. Calderón de R. 2005. Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Sánchez-Escalante, J. J. 2006. Torota, Papelío (*Jatropha cordata*). Publicado en la revista Sonora Es, Edición de Junio. Esta entrada fue publicada en Árboles y Arbustos, Especies Nativas.
- Schneid, C.K. 1907. *Simmondsia chinensis*. *Illustriertes Handbuch der Laubholzkunde* 2 (141): 77-82.
- SEINet (Southwest Environmental Information Network). 2010. Report update november 23, 2010. (<http://swbiodiversity.org/seinet/index.php>).
- Sherbon, E. H. 1966. *Arid lands: A Geographical Appraisal*. Eds. Taylor & Francis, 461.
- Shreve, F. y I. L. Wiggins. 1964 *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. Stanford, California: Stanford University Press.
- Sierra-Bernal, C. y A. Ibacache G. 2007. *Jatropha curcas* L. materia prima para producir biodiesel bajo condiciones edafoclimáticas de Chile semiárido. Seminario Internacional: resultados preliminares del proyecto/ Inova Corfo. Centro Regional de Investigación INIA Intihuasi La Serena. Reporte de actualización agosto 5, de 2010. (<http://www.inia.cl/jatropha>).
- Soberón, J. y A. T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Souza-Muñoz, M.E., R. De Giovanni, M. F. de Siqueira, T. Sutton, P. Brewer, R. Scachetti-Pereira, D. A. Lange-Canhos, V. Perez-Canhos. 2009. openModeller: a generic approach to species' potential distribution modelling. *Geoinformatica* 15: 111-135.
- Stanley, C. A., T. L. Grey, W. K. Vencill, J. M. Kichler, T. M. Webster, S. M. Brown, A. C. York, J. W. Davis y W. W. Hanna. 2006. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Science* 54: 620-626.
- Tenaglia, D. 2007. *Cucurbita foetidissima*. Report update september 18, 2010. ([http://www.missouriplants.com/Yellowalt/Cucurbita\\_foetidissima\\_page.html](http://www.missouriplants.com/Yellowalt/Cucurbita_foetidissima_page.html)).
- Tesky, J. L. 1993. *Encelia farinosa*. In: *Fire Effects Information System*, (Online). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). Report update july 20, 2011. (<http://www.fs.fed.us/database/feis/>).

- Tezara, W., R. Urich, I. Coronel, O. Marín y A. Herrera. 2010. Asimilación de carbono, eficiencia de uso de agua y actividad fotoquímica en xerófitas de ecosistemas semiáridos de Venezuela. *Ecosistemas* 19 (1): 67-78.
- The Columbia Encyclopedia. 2008. Sunflower. Encyclopedia.com. Sixth Edition. Report update may 06, 2010. (<http://www.encyclopedia.com/doc/1E1-sunflowe.html>).
- Torres, B. E., C. Galindo L. y A. Domínguez G. 2009. Palo Fierro (*Olneya tesota*). Fichas de especies mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México D.F.
- Troyo-Diéguez, E., A. Ortega-Rubio, Y. Maya y J. L. León. 1994. The effect of environmental conditions on the growth and development of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. in arid Baja California Sur, México. *Journal of Arid Environments* 28: 207-213.
- Turner, R. M, Bowers J. E. y Burgess T. L. 1995. Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas. The University of Arizona Press, Tucson 504.
- Uchytel, R. J. 1990. *Prosopis velutina*. In: Fire Effects Information System, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory. Report update august 16, 2011. (<http://www.fs.fed.us/database/feis/>).
- Valdez, Z. D., L. Alcaraz M., S.Real C. y M. Rodríguez Á. 2010. Determinación de áreas con potencial para establecer cultivares de jojoba (*Simmondsia chinensis*) en el estado de Sonora, México. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. *Agronomía* 16-19.
- Vasconcellos, J. A., W. P. Bemis, J. W. Berry y C. W. Weber. 1981. The Buffalo gourd, *Cucurbita foetidissima* HBK, as a source of edible oil. En: Pryde Everett H., L. H. Princen, K. D. Mukherjee. (Eds.), *New sources of fats and oils*. Monograph- American Oil Chemists' Society 9: 55-68.
- Vibrans, H. 2004. *Helianthus annuus* L. Malezas de México. Reporte de actualización 20 de julio de 2009. (<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinus-communis/fichas/ficha.htm>).
- Wiggins, L. I. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, Stanford 1025.
- Wilder, B. T., Felger R. S. y Romero-Morales, H. 2008. Succulent plant diversity of the Sonoran Islands, Gulf of California, Mexico. *Haseltonia* 14: 127-160.

Wompner, G. F. Biocombustibles en Chile ¿Una alternativa factible?. DELOS - Desarrollo Local Sostenible 3(9): 1-15.

Yetman, D. 2002. The Guarijíos of the Sierra Madre: hidden people of northwestern Mexico. UNM Press, Albuquerque 270.