

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

÷Distribución Geográfica y Ecológica de
Bursera linanoe (La Llave) Rzed.,
Calderón & Medina÷.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

ISRAEL DOMÍNGUEZ CAMPUZANO



DIRECTOR DE TESIS: M. en C. David Espinosa Organista.

MEXICO, D.F.

Mayo 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



A G R A D E C I M I E N T O S

A **DIOS**, por darme la oportunidad de existir y por haberme permitido conocer a todas y cada una de las personas que me han ayudado a lo largo de mi vida a crecer y desarrollarme en el ámbito social y profesional.

A la **UNAM**, por abrirme los brazos como una madre y a través de sus profesores trasmitirme los conocimientos, valores y experiencias necesarias para poder enfrentar los nuevos retos que se presentan en la sociedad.

Al **M. en C. David Espinoza Organista** y al **Biólogo. Genaro Montaña Arias**, por brindarme su amistad, confianza y apoyo incondicional; así como por compartir sus conocimientos y valioso tiempo para llevar a cabo la culminación de una aventura que iniciamos juntos hace mucho tiempo, **GRACIAS**.

A los miembros del jurado:

Dra. Alejandrina G. Ávila Ortíz.

Dr. Eloy Solano Camacho.

M. en C. David Espinoza Organista

M. en C. Carlos Pérez Malváes.

Biol. Genaro Montaña Arias.

Por dedicar tiempo a la revisión de éste estudio y compartir sus conocimientos para enriquecerlo.

Al **Dr. Oswaldo Téllez** del laboratorio UBIPRO, FES Iztacala, por su valiosa colaboración en la realización de los mapas con **BIOCLIM** presentados en este trabajo.

A todos mis compañeros y amigos del laboratorio de Biogeografía: **Giovanna, Florencia** y **Genaro**, por su apoyo, amistad y solidaridad.

A todos mis compañeros y amigos de la **OEIDRUS D.F.:** **Eduardo González, Israel Octavio** y en especial a **Ana Escamilla**, por brindarme su amistad y contribuir de una forma certera al enriquecimiento de este trabajo.

A mis exprofesores y actuales amigos, **Meche, Magda, Alfredo, Paty Velásco, Paty Rivera, David, Gerardo, Ernesto, Catalina** y **Juan Romero**, por compartir conmigo sus enseñanzas académicas y por sus palabras de aliento en los momentos difíciles.



DEDICATORIAS

A **MIS PADRES**, *Estefanía Campuzano y Margarito Domínguez*, por darme la vida y ser un ejemplo de superación, por que día con día fueron pacientes y me demostraron su fortaleza ante la adversidad, por dejarme su legado de amor y comprensión a mis semejantes y sobretodo por darme la familia mas bonita del mundo y hacerme sentir el hijo mas afortunado del mundo. Dedicada con todo mi **AMOR** y **CARIÑO** a la **MEMORIA DE MI MADRE**.

A **MIS HERMANOS**, es difícil mencionar a cada uno de ellos, Gerardo, Paty, Mario, Gustavo, Marcos, Gabriel, y en especial a Yaz, Yessica, Jhon, Adrian, y Claudia y a ti Juan (foforo) les doy las gracias por haber creído en mí y darme su apoyo y confianza. Por darme tantas alegrías y estar juntos. **LOS AMO**

A **MIS CUÑADOS (AS)**, por aguantar y formar parte de la familia y porque son los pilares de esta hermosa familia.

A **ROSY** por estar a mi lado y darme todo el cariño y la confianza, gracias por ser mi pareja en las buenas y en las malas y sobretodo por ser la mujer mas sincera, cariñosa y trabajadora que he conocido, muchas gracias por estar conmigo, por compartir tu vida y ser fuerte en los momentos mas difíciles de mi vida **MIL GRACIAS** por existir.

A mis **SOBRINOS** que son muchos y que a cada uno de ellos los quiero y los admiro, gracias por ser la luz en mi vida.

A mis **AMIGOS** del bacho, por aguantarme y darme su amistad durante 10 años los quiero mucho: Liz, Sarita, Daniel, Marcos y sobretodo a ustedes Chihuahua y Gaviota por ser unas grandes personas.

A mis **AMIGOS de la FES**, Osvaldo, Gaby, Giova, Magda e Itzel y a cada uno de mis compañeros de la generación 2001-2005 por compartir su tiempo y amistad durante la carrera.

A **mi AMIGA Anita**, por ser la persona mas linda y ser mi paño de lagrimas, gracias por compartir parte de tu vida, tus alegrías y tus tristezas, tus conocimientos y tus experiencias y sobretodo por ser como eres y darme tu amistad incondicional, te quiero mucho.

A mi **AMIGA** Viridiana por compartir sus conocimientos y su amistad.



CONTENIDO

Figurasí	í í í .í .í í í í í í í í í	...i
Cuadrosí	í í	..ii
Resumení	í í	...iii
Introduccióní	í í	...1
Marco Teórico.....		4
Género <i>Bursera</i> í	í í4
<i>Bursera linanoe</i> (La Llave) Rzed., Calderón & Medinaí	í í í .í í í í í í í .í í í	.10
Distribución Geográficaí	í í	.í í í 10
Importancia Económicaí	í í	.í í í 12
Distribución de las especiesí	í í ..í .í í	..13
Predicción de la distribución de especiesí	.í í í í í í í í í í í í í .í í í .í	...15
Sistemas de Información de Geográfica (SIG)í	í í	.í .15
Modelos para predecir el área de distribución para las especiesí	í í í í í í í í í í	...17
Objetivos.....		21
Área de Estudio	í í í í ...í í í í .í .í í í22
Métodosí	í í	24
Obtención de Datosí	í í24
Distribución Ecológicaí	í .í í í í í	25
Distribución Geográficaí	í ...í í í í	.26
Modelo BIOCLIMÍ	í ...í	.26
Modelo GARPí	í ...í	...30
Validación de los Modelos Predictivosí	í ...í í	.32
Área de Distribución Potencial de <i>Bursera linanoe</i> í	í ..í í í í í í í í í .í .í í	.34
Resultados y Discusióní	í ...í í í	35
Distribución Ecológicaí	í í	..35



CONTENIDO

Distribución Geográficaí 41

Distribucióní ..52

Conclusionesí ..í í í í í í .í í 58

Distribución Ecológicaí ..58

Distribución Geográficaí 59

Bibliografíaí ..61



FIGURAS

Marco Teórico

Figura 1. Distribución de la Familia Burseraceaeí í í í í í í í í í í í í í í í í 4
 Figura 2. Distribución del género *Bursera* en Américaí .í í í í í í í í í í í í í í í í ...6
 Figura 3. Distribución del género *Bursera* en Méxicoí í ..í í í í í í í í í í í í í í í ...7
 Figura 4. Estructura taxonómica del género *Bursera*í í í í í í í í í í í í í í í í ...8
 Figura 5. *Bursera linanoë* (La Llave) Rzed, Calderón & Medinaí ..í í í í í í í í í í í 11

Área de Estudio

Figura 6. Área de Estudioí ...22

Métodos

Figura 7. Proceso general del Programa BIOCLIMí í í í í í í í í í í í í í í í í ..29
 Figura 8. Proceso general del programa GARPí .31

Resultados

Figura 9. Tipo de vegetación para *Bursera linanoë*í í í í í í í í í í í í í í í í í ...36
 Figura 10. Rango altitudinal para *Bursera linanoë*í í ...í í í í í í í í í í í í í í í í .36
 Figura 11. Tipo de suelo para *Bursera linanoë*í í í í í í í í í í í í í í í í í ..37
 Figura 12. Tipo de temperatura para *Bursera linanoë*í í í í í í í í í í í í38
 Figura 13. Rango de precipitación para *Bursera linanoë*í í í .í í í í í í í í í í í í .38
 Figura 14. Rango de humedad para *Bursera linanoë*í í í .í í í í í í í í39
 Figura 15. Mapa de los datos puntuales de ocurrencia para *Bursera linanoë*í í í í ...í 41
 Figura 16. Modelo de distribución potencial para *Bursera linanoë* BIOCLIMí ..í ...í ...43
 Figura 17. Modelo de distribución potencial para *Bursera linanoë* GARPí í í í ...í ...44
 Figura 18. Mapa de puntos de evaluación para el modelo GARPí í í í í í í í í í í .48
 Figura 19. Mapa de puntos de evaluación para el modelo BICLIM.í í í í í í í í í í .49
 Figura 20. Curvas ROC para BIOCLIM y GARPí í í í í í í í í í í í í í í í í .51
 Figura 21. Mapa de distribución geográfica real para *Bursera linanoë*í í í í í í í í í .53
 Figura 22. Mapa de distribución de los datos puntuales con sobreposición con las cuencas de México para BIOCLIM y GARPí í í í í í í í í í í í .í í í í í í í í í í í í í í í í ..55
 Figura 23 Área de distribución limitada de *Bursera linanoë*í í í í í í í í í í í í .57



CUADROS

Marco Teórico

Cuadro 1. Descripción del sistema GARPí .19

Método

Cuadro 2. Parámetros Utilizados por BIOCLIM y GARPí í í í í í í í í í í í í í í í .28

Cuadro 3. Cuadro de tipo de datos que se utilizó para la evaluacióní í í í í í í í í í .33

Cuadro 4. Datos utilizados para calcular los errores de Omisión y de Comisióní í í í .33

Resultados

Cuadro 5. Variables ambientalesí .40

Cuadro 6. Matriz de Confusión de datos para GARPí í í í í í í í í í í í í í í í .45

Cuadro 7. Matriz de Confusión de datos para BIOCLIMí í í í í í í í í í í í í í í í .45

Cuadro 8. Resultados de los errores de Omisión y Comisión para GARP...í í í í í í .46

Cuadro 9. Resultados de los errores de Omisión y Comisión para BIOCLIM.í í í í í í .46

Cuadro 10. Resultados obtenidos del análisis de las curvas ROC.í í í í í í í í í í ...49



RESUMEN

Se determinó la distribución ecológica y geográfica para *Bursera linanoe*, (La Llave) Rzed., Calderón & Medina, con base en un análisis ecológico y geográfico y mediante el uso de información geográfica digital y puntos de ocurrencia obtenidos de ejemplares de herbario, a través de los Sistemas de Información Geográfica y el uso de modelos predictivos se obtuvo el área de distribución geográfica. Para la obtención de la distribución ecológica, se utilizaron datos puntuales de localidades para la especie y coberturas digitales de tipo de vegetación, suelo, altitud, precipitación, temperatura y humedad. Para la distribución geográfica se utilizaron los sistemas de modelación GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) y BIOCLIM, usando 19 parámetros climáticos que permitieron determinar el área de distribución potencial para el linaloe. La evaluación de ambos modelos a través de las curvas ROC (Receiver Operating Characteristics), permitió obtener el mejor modelo que describe le área de distribución geográfica para la especie.

Se encontró que la especie presenta poca tolerancia ecológica quedando restringida a un área que presenta condiciones climáticas similares. La especie tiene preferencia por las selvas bajas caducifolias, distribuida en un intervalo altitudinal que va de los 500 a los 1500 m. Así, *B. linanoe* se restringe a temperaturas cálidas y precipitaciones bajas, por lo tanto el intervalo de humedad que presenta va desde los áridos y semiáridos hasta los subhúmedos quedando su distribución restringida en climas calidos-secos. Bajo la condiciones ecológicas e históricas que se presenta, *B. linanoe* quedó delimitada a un área de distribución que abarca la parte oriental de la Cuenca del río Balsas extendiéndose a la parte alta de la Cuenca del río Papaloapan hasta alcanzar el Valle de Tehuacán ó Cuicatlan, tal que, los estados en los que se encuentra distribuida *B. linanoe* son Puebla, Morelos Guerrero y Oaxaca.



INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica o biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (LGEEPA, 2007) y es uno de los temas más importantes en la actualidad (CONABIO, 1998). Su conocimiento es necesario en áreas como la ecología, la sistemática y la biogeografía. Además la biodiversidad es crucial para entender la naturaleza (Dirzo 1990, Navarro *et al.*, 2003). El conocimiento de la biodiversidad requiere de un estudio profundo de la riqueza, la abundancia relativa y distribución ecológica de la biota (Navarro *et al.*, 2003).

En México se presenta una gran diversidad biológica producto de la agreste topográfica, la variedad de climas, una historia geológica intrincada, así como una gran diversidad cultural, factores que han contribuido a la creación de diferentes ecosistemas y el surgimiento de nuevas especies, por lo que México presenta especies endémicas de origen relativamente reciente (CONABIO, 1998; Mittermeier y Gotees, 1992; Toledo-Manzur, 1982). El territorio nacional alberga casi todos los paisajes naturales del planeta, desde zonas desérticas hasta selvas exuberantes, pasando por matorrales tropicales y páramos de altura casi en contacto con nieves perpetuas. Dentro de las Selvas tropicales se encuentran las selvas bajas caducifolias (Miranda y Hernández X., 1963) o bosques tropicales caducifolios (Rzedowski, 1978) de gran importancia ya que presentan una alta diversidad tanto faunística como florística. Esta selva se distribuye desde el noroeste de México, al sur de Sonora y Chihuahua hasta Chiapas extendiéndose hasta Centroamérica. Algunos de los componentes dominantes de este tipo de vegetación son los géneros *Lysiloma*, *Ceiba*,



Acacia, *Cyrtocarpa*, *Prosopis* y *Bursera*, entre otros. Muchos de estos géneros presentan elementos que son de distribución restringida o bien endémicos.

Uno de los principales elementos que constituyen estas selvas es el género *Bursera*, presenta un gran número de especies endémicas de las selvas bajas caducifolias mexicanas y frecuentemente son endémicas de áreas muy particulares (Rzedowski, 2004). Muchas de esas especies son dominantes o codominantes dentro de la selva baja caducifolia y otros tipos de vegetación de clima semejante, por lo que se les puede utilizar como indicadores de clima y de algunos otros factores ambientales (Rzedowski y Kruse, 1979) de esta forma este género juega un papel trascendental en este ecosistema. La distribución de *Bursera linanoe* Rzed., Calderón y Medina, se delimita a la porción oriental de la cuenca del río Balsas y de la cuenca alta del Papaloapan, también conocida como Valle de Tehuacán - Cuicatlán (Rzedowski y Kruse, 1979).

Debido a que *Bursera linanoe* es un elemento principal de las selvas bajas caducifolias de la región del Balsas y del Papaloapan y por presentar un aroma de intensidad dulce, ha sido intensamente explotada. En la década de 1940's el aceite esencial del linaloe (linalol) se exportó como materia prima para la elaboración de perfume. En la actualidad la madera se utilizan para la elaboración de artesanía (cajas labradas y laqueadas) principalmente, y todavía se continúa con la práctica de extracción del aceite (Rzedowski, 2004). El uso y la explotación de esta especie y la presión que ejerce el hombre hacia el ecosistema han propiciado una sobreexplotación de esta especie, dando como resultado una pérdida considerable del territorio en el que se encontraba distribuida esta especie endémica de México (Rzedowski, 2004). Su hábitat ha sido reemplazado por la ganadería, lo que complica la recuperación de sus poblaciones.



Por lo anterior, se necesita conocer y realizar estudios detallados sobre la distribución ecológica y geográfica de esta especie con el fin de conocer más acerca de su biología. Para ello, se requiere de tecnologías más rápidas que permitan el manejo procesamiento y análisis de esta información. Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una herramienta que ofrecen la posibilidad de nuevos análisis en el estudio de la biología y la conservación (Peterson *et al*, 2001), gracias a la facilidad y rapidez que representan para combinar e interpretar mapas e información sobre áreas de interés. De igual forma, la elaboración de métodos de predicción para las áreas de distribución de las especies, se han hecho importantes en la biología. Algunos de estos métodos como el Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP), el BIOCLIM y su modelación en los Sistemas de Información Geográfica, permiten entre otras cosas, crear bases de datos, muestreos estadísticos, análisis, evaluación, predicción y un despliegue de los resultados obtenidos.

Este trabajo tiene como objetivos hacer una descripción de la distribución ecológica de *Bursera linanoe*, mediante el análisis y validación de los modelos de predicción GARP, BIOCLIM y la modelación espacial en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para obtener el modelo que mejor represente la distribución geográfica de la especie y hacer una propuesta del área de distribución potencial de *Bursera linanoe*.

MARCO TEÓRICO

Género *Bursera*

El género *Bursera* Jacq. ex L. pertenece a la familia Burseraceae. Es una familia con un gran valor económico, ya que es una fuente de resinas aromáticas, medicinas, aceites esenciales, perfumes y tiene un valor cultural al utilizarse como incienso, mirra y copal desde la antigüedad (Weeks *et al.*, 2005). La familia comprende alrededor de 18 géneros en los que se incluyen cerca de 700 especies, se divide en tres tribus (Canarieae, Protieae, y Bursereae) presentando una distribución pantropical (Fig. 1), principalmente en selvas bajas caducifolias y lugares secos como los desiertos (Weeks *et al.*, 2005).

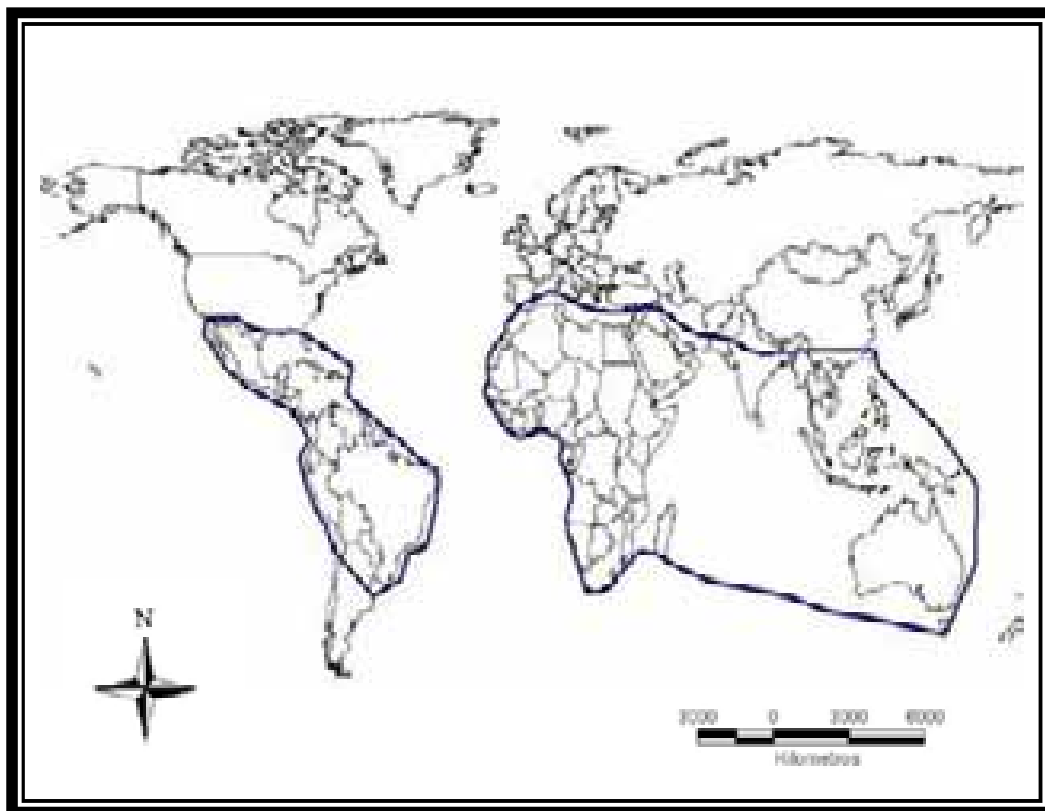


Fig. 1. Distribución de la familia Burseraceae, tomado de Rzedowki y Kruse, (1979)



El género *Bursera*, perteneciente a la tribu Burserae, se encuentra estrechamente relacionado con los géneros *Commiphora* (género de la mirra) con cerca de 190 especies que habitan en África occidental, Arabia, Madagascar, y la India, y *Boswellia* (el género del incienso) con poco más de 20 especies distribuidas también alrededor del Océano Índico (Rzedowski y Kruse, 1979), ambas incluidas en la misma tribu que *Bursera*, considerándose el grupo más avanzado dentro de la familia (Fig.1) (Rzedowski y Kruse, 1979).

Para el género *Bursera* se registran aproximadamente 100 especies. Este género se distribuye en el continente Americano desde el extremo sur de los Estados Unidos de América hasta el Perú, el sur de Brasil incluyendo áreas insulares como las Antillas, Galápagos y las Revillagigedo y al parecer se presenta una disyunción en la parte del noreste de Brasil (Fig. 2) (Rzedowski y Kruse, 1979). Sin embargo, la mayor diversidad se concentra en México (Fig.3), con 82 especies (Rzedowski *et al.* 2005), con registros en casi todos los estados excepto Tlaxcala, pero la mayor diversificación y concentración de especies endémicas se presenta en la vertiente Pacífica (Rzedowski y Kruse, 1979), específicamente en la Depresión del Balsas con aproximadamente 48 especies (Rzedowski 2004, Toledo-Manzur, 1982).



Fig. 2. Distribución del género *Bursera* en América (tomado y modificado de Rzedowski y Kruse1979).



Fig. 3. Distribución geográfica del género *Bursera* en México (elaborado a partir de Rzedowski y Kruse, 1979; Rzedowski., (2004) y Rzedowski *et al* (2005).

Entre los estudios taxonómicos sobre el género *Bursera* destacan las de McVaugh y Rzedowski (1965), Rzedowski y Kruse (1979), Toledo-Manzur (1982), actualmente se han realizado varias revisiones taxonómicas del género *Bursera* con base en sus caracteres morfológicos como el de Andrés y Espinosa (2002). Recientemente el trabajo de Andrés (2001) incorpora algunos caracteres anatómicos de hoja y pecíolo así como arquitectura foliar. Becerra y Venable (1999) y Becerra (2003) proponen un arreglo filogenético con base en el estudio de secuencias del ADN nuclear ribosomal, todos ellos coinciden en la existencia de dos grandes grupos monofiléticos del género que corresponden a dos secciones de *Bursera*, sección *Bursera* árboles o arbustos de corteza exfoliante, catáfilos ausentes, flores 3, 4, 5-meras, ovario trilocular y fruto trivalvado y la sección *Bullockia* árboles o arbustos de corteza no exfoliante, catáfilos presentes, flores 4(5)-meras, ovario bilocular y fruto bivalvado (Fig. 4) (McVaugh y Rzedowski, 1965).

La sección *Bursera* está formada por tres grupos, los cuajotes (Toledo-Manzur, 1982) conformado por tres subgrupos *B. fragilis*, *B. microphylla* y *B. fagaroides* distribuidos sobre la vertiente del Pacífico mexicano, el segundo grupo está formado por el complejo *Bursera simaruba* (Daly 1993), también conocidos como mulatos por Toledo-Manzur (1982) y por último el grupo de *B. inaguensis* con una distribución estricta en las Antillas (Fig. 4) (Rzedowski y Kruse 1979).

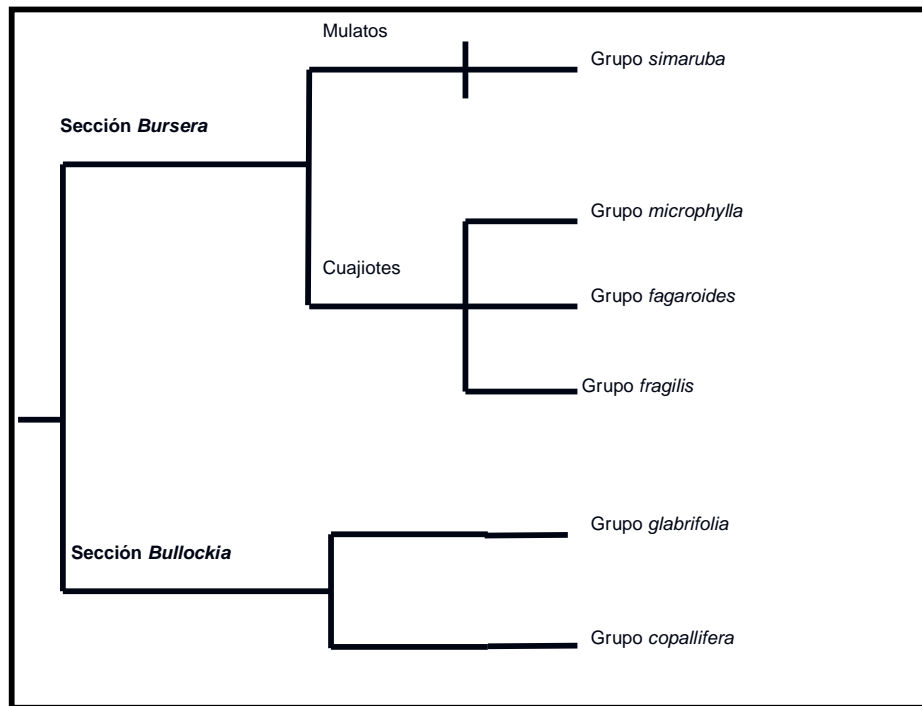


Fig. 4 Estructura taxonómica del género *Bursera* (Becerra, 2003).



Con base en sus rasgos morfológicos la sección *Bullockia* está integrada por dos grupos (Fig. 4), *Bursera copallifera* y el grupo *B. glabrifolia*. En el primer grupo se incluyen especies que presentan fruto cuya semilla es ovoide, casi completamente cubierta por un arilo, excepto una pequeña área apical desnuda, de color negro; los sépalos están separados y por lo regular son especies cuyo exudado se endurece al contacto con el aire.

Este grupo se distribuye a lo largo de la vertiente del Pacífico desde Colombia hasta México. El segundo grupo incluye especies con frutos que presentan semillas lenticulares asimétricas, parcialmente cubiertas por un arilo (sobre la base y los cantos); los sépalos están fusionados y el exudado con frecuencia es aceitoso. Es el grupo con una distribución muy amplia dentro del género *Bursera*, abarca de forma preferencial la vertiente del Pacífico desde el Golfo de Guayaquil en Ecuador hasta el Cabo de la Península de Baja California en México, incluyendo los archipiélagos de las Galápagos (*B. malacophylla*) y las de Revillagigedo (*B. nesopola*), así como en las Antillas (Cuba, *B. graveolens*) donde puede haber sido introducida (Toledo-Manzur, 1982). Este grupo incluye a *B. linanoe*, junto con *B. coyucensis*, *B. heteresthes*, *B. epinnata*, *B. fragantísima*, y *B. xochipalensis*, entre otras. Los estudios morfológicos y moleculares sugieren un estrecho parentesco entre *B. linanoe* con *B. glabrifolia* y *B. citronella* (Becerra, 2003).



***Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina**

Árbol de 3.5 a 5 m de alto, **corteza** gris-rojiza no exfoliante, aroma intenso, agradable, dulce, **hojas** de 6 a 12 cm de largo y 3.5 a 7.5 cm de ancho, con 2 a 5 pares de folíolos, el haz glabrescente en la madurez y espaciadamente vellosos en el envés, alas del raquis hasta de 5 mm de ancho, enteras, pecíolos de 1.2 a 2.7 cm de largo; ápice obtuso o redondeado, margen profundo, grueso y obtuso a redondeado crenado-dentado con cerca de seis dientes por lado, el terminal mayor, oblancoado y agudo en ambos lados extremos; **inflorescencias** paniculadas de 1.5 cm de largo, con cerca de tres a cuatro flores; **flores** tetrámeras; cáliz con los lóbulos triangulares de alrededor de 0.7 mm de largo y 0.5 mm de ancho, verdes, con pétalos glandulares capitados; pétalos oblancoados a elíptico-oblancoados, de alrededor de 3.6 mm de largo y 11 mm de ancho, ligeramente capitado pilosos; **frutos** drupas bivalvadas obovoides, algo comprimidos, glabras, de 0.9 a 1.1 cm de largo y 0.8 cm de ancho, pedicelos de alrededor de 1.3 cm de largo; **semilla** lenticular de alrededor de 0.5 cm de largo y 0.65 cm de ancho, con el pseudoarilo anaranjado, cubriéndole la mitad inferior (Fig. 5) (Toledo-Manzur, 1982).

Distribución Geográfica

Es una especie propia del sector oriental de la depresión del Balsas extendiéndose también en las cuencas del Papaloapan y del río Tehuantepec, donde prospera en altitudes de 700 a 1400 m (Rzedowski, 2004) y suele encontrarse en suelos someros de cerros con laderas de gran pendiente (Rzedowski y Kruse, 1979). Se distribuye en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla, el conocimiento de la distribución geográfica de la especie es aún incompleta, pocos estudios se han hecho al respecto, de aquí se parte para realizar estudios con el fin de tener un conocimiento aproximado del área de distribución geográfica. Durante muchos años a este taxón se le ha conocido con los nombres de *B. aloexylon* y *B. delpechiana* (Rzedowski *et al*, 2005).

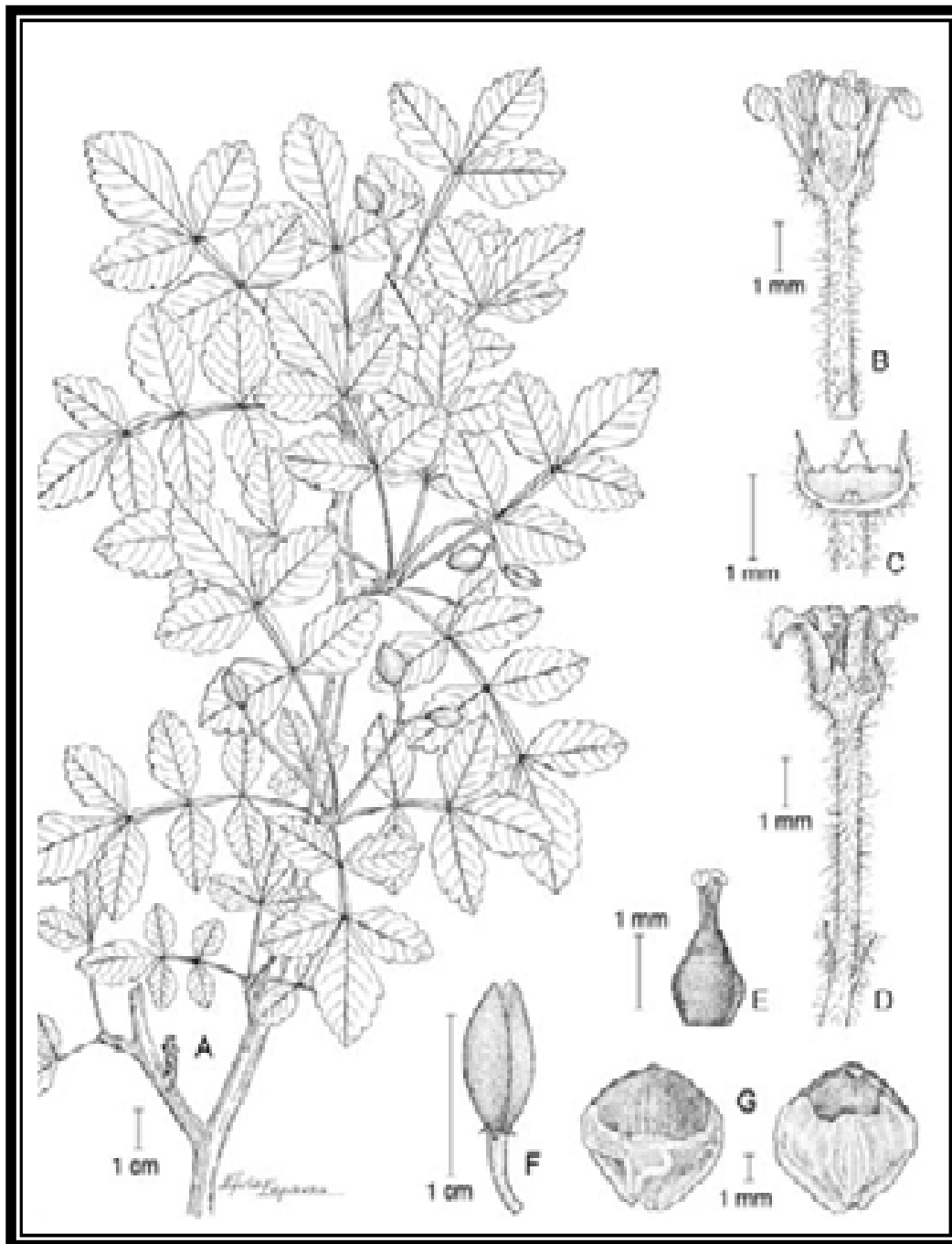


Fig. 5. *Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina. **A.** rama con hojas y frutos; **B.** flor masculina; **C.** flor masculina desprovista de un segmento del cáliz, de los cuatro pétalos y del androceo; **D.** flor femenina; **E.** pistilo; **F.** fruto; **G.** hueso visto por ambas caras. Tomado de Rzedowski, (2004).



Importancia Económica

Desde tiempos prehispánicos, el linaloe o xochicopal [*Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina y *B. citronella* McVaugh & Rzed] ha sido objeto de uso y explotación por los pueblos de la Mixteca de Puebla y la región de la alta montaña en Guerrero así como en Colima y Michoacán respectivamente. Los españoles le llamaron òcopal santoö o òcopal limónö. También Francisco Hernández (1557) hizo una descripción del xochicopal distinguiendo el de Colima y Michoacán con el de la cuenca del Balsas en Teocaltzingo (Guerrero). Por lo que es muy probablemente que se refiera tanto a *Bursera citronella* como a *Bursera linanoe* respectivamente, de acuerdo con el área de distribución actual de la especie en estudio.

El linaloe durante la segunda guerra mundial fue intensamente explotado para la extracción del aceite esencial y fue exportado para la industria del perfume (Doelker, 1957 y Rzedowski *et al*, 2005). En la actualidad, los árboles son utilizados para la elaboración de artesanía (cajas labradas y laqueadas) en la población de Olinalá, uno de los centros de artesanía más importantes en México. También se usa para la elaboración de muebles y postes, su madera sirve como combustible, además de la extracción de aceites esenciales (aceite de lináloe), se emplea en la medicina tradicional, lo que implica el manejo de los diferentes órganos de la planta y la tala total del árbol que por consecuencia lleva a la deforestación de la zona en la que habitan (Torrico, 1991). Por ello es importante realizar estudios acerca de su distribución geográfica y ecológica para que en estudios posteriores se formulen trabajos que propongan un manejo sustentable de este recurso natural.



Distribución de las especies

Existen tres conceptos básicos en relación con la distribución de las especies: área, hábitat y nicho. El *área* es la distribución geográfica cartografiable, el *hábitat* es el ambiente y el espacio en que se encuentran las especies y que tiende a definirse por el tipo de comunidad biótica (dentro de su área de distribución una especie puede ocupar una gradación completa de hábitats o mas de uno de ellos) y el *nicho* es la posición espacio temporal y la función de la especie dentro de un hábitat particular (Whittaker, 1975). Desde este punto de vista ecológico, uno de los problemas centrales de la ecología es establecer las causas de la distribución ecológica de los organismos (Krebs, 1978). Sin embargo la biogeografía establece una definición concreta de distribución geográfica y ecológica (Espinosa *et al.*, 2005), la cual nos permite delimitar la distribución tanto geográfica como ecológica. En el caso particular de *Bursera* sus especies están limitadas, como muchos otros organismos, en áreas específicas de distribución.

Así, es necesario establecer al menos una definición más clara de la distribución ecológica y geográfica de las especies. Espinosa *et al.*, (2005) las define de la siguiente manera: la distribución ecológica se refiere al comportamiento del algún parámetro poblacional a lo largo de un gradiente ambiental, ya sean factores físicos (temperatura, pH, precipitación, salinidad, entre otros) o de recursos bióticos (disponibilidad de alimento), el cual puede ser laxo (euritópico) o estrecho (estenotópico). La distribución geográfica se refiere al conjunto de localidades en las que una especie o taxón supraespecífico delimita un área que es ocupada por sus miembros. No obstante, pensar que solo con los puntos en el mapa se puede definir el área de distribución de una especie sería sencillo y no presentaría mayor dificultad, pero en la realidad no es así, definir el área de distribución no es tan sencillo (Espinosa *et al.*, 2005). Por otro lado, el tamaño y forma del área de distribución frecuentemente varía en diferentes órdenes y magnitudes y esta variación esta asociada con el tamaño de la especie, densidad de la población, modo de dispersión, latitud, elevación, la dinámica metapoblacional y la extinción así como la existencia de barreras físicas (Gaston, 1994; Espinosa *et al.*, 2005).



Mas tarde Zunino y Zullini (2003) precisan el concepto de área de distribución como aquella fracción del espacio geográfico donde tal especie esta presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema, este concepto, permite entre otras cosas enfocar en términos no ambiguos, ni demasiados subjetivos que proceden de las múltiples maneras en que los seres vivos ocupan el espacio. Para realizar la descripción del área de distribución de una especie y su transcripción en un mapa es necesario trazar su fronteras, esta operación puede realizarse a partir de una nube de puntos cada uno de los cuales representa una localidad que se atribuye a la misma área (Zunino y Zullini, 2003). Sin embargo, a pesar de los importantes adelantos en la informática, la calidad de la mayoría de los datos de distribución de las especies es muy pobre y los métodos para medir el tamaño del área de distribución tienden a ser muy simples, y a menudo dependen de la disponibilidad de datos y su grado de agregación (Espinosa *et al.*, 2005).

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) pueden constituirse en herramientas para el trazado homogéneo y equivalente de áreas de distribución (Espinosa *et al.* 2005). Así las disciplinas como la macroecología y la biogeografía han tratado de generar modelos que ayuden a predecir los patrones de distribución espacial y temporal de los organismos. Para ello, se interpretan algunos valores de la diversidad, como los índices alfa, beta y gamma, y sus relaciones con otros factores ambientales, ponderando algunas variables biofísicas relacionadas en tiempo y espacio con la distribución de los individuos (Arita y Rodríguez, 2002; Espinosa *et al.*, 2005, Rojas, 2005).

Sin embargo poca atención se ha puesto en la distribución geográfica de las plantas mexicanas, se han realizado estudios sobre aspectos generales de la distribución de conjuntos a nivel de tipos de vegetación o de sus afinidades geográficas se hacen registros de riqueza local o regional, pero poco o nada se ha hecho para documentar el área total que



ocupa una especie (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004). Con el propósito de conocer la distribución geográfica de las especies con mayor precisión, se han propuesto diversos modelos predictivos que ayudan a estimar su distribución potencial (Nix, 1986; Carpenter *et al.*, 1993; Sánchez-Cordero *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2003). De esta manera se han propuesto métodos formales y rigurosos para predecir áreas donde puede encontrarse el taxón y que ayudan a determinar donde se encuentran las condiciones ambientales más convenientes en donde la especie se pueda desarrollar, en función de los parámetros obtenidos de las recolectas previas (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).

PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se puede definir como un conjunto de herramientas y métodos para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos y satisfacer múltiples propósitos (Bosque, 2000). En esencia un SIG es una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales y geográficos, son útiles en cualquier área donde sea necesario el manejo de información espacial. Las áreas de uso práctico de un SIG son muy variadas, desde el inventario de los recursos naturales hasta el control y gestión de los datos catastrales y de propiedad urbana y el control de grandes redes e instalaciones (Bosque, 2000).

Los datos geográficos en un SIG se pueden almacenar como: polígonos, líneas o puntos y a su vez los datos se guardan en dos tipos básicos de estructuras dependiendo del SIG que se utilizó, pueden ser en ráster o vector. La forma vectorial (líneas) definida por un par de coordenadas (X, Y) relacionadas con un sistema cartográfico y acompañados con



una variable alfanumérica que denota los atributos. La forma ráster, guarda los datos en un sistema de celdillas de tamaño limitado, cada una de las celdas contienen atributos asociados (Bosque, 2000; Feria, 2001).

Actualmente los avances en los SIG y sus aplicaciones en la biología de la conservación presentan la posibilidad de análisis nuevos y sintéticos (Peterson *et al.*, 2001). En este sentido han surgido diferentes métodos y modelos de predicción de distribución para las especies, algunos modelos utilizan métodos estadísticos, por ejemplo el de regresión múltiple o los multivariados (Austin, 1998), otros utilizan el SIG en los análisis de discrepancias (el GAP, Scott y Cuti 1997). El GAP utiliza datos tanto de presencia como de ausencia, ayuda a identificar áreas prioritarias de conservación. Por ultimo los algoritmos genéticos (DOMAIN Carpenter *et al.*, (1993), BIOCLIM (Nix, 1986) y el GARP (Hollan, 1975).utilizan datos de presencia relacionada con la información ambiental, aquí las áreas se ajustan a las condiciones ambientales que son planteadas como optimas para la existencia de la especie.

En este trabajo se exploraron dos modelos de predicción el BIOCLIM y el GARP, analizados con el SIG Arc View 3.2 para determinar cual de estos es el que mejor explica la distribución de *Bursera linanoe*. Se tomaron en cuenta estos modelos porque utilizan datos de presencia; la mayoría de la información se obtiene de colecciones científicas (Museos y Herbarios), que se incorporan a bases de datos de biodiversidad. En combinación esa información con los datos ambientales permite llevar a cabo ejercicios que permite predecir la distribución potencial de las especies y estimar la extensión que su nicho ecológico pudiera alcanzar (Anderson *et al.*, 2003; Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).



Modelos para predecir el área de distribución para las especies.

El **BIOCLIM** es un sistema de predicción y análisis bioclimático, que determina teóricamente los límites probables de la distribución de la especie, por medio de un análisis de perfiles bioclimáticos. Una vez definidas las localidades bajo condiciones climáticas similares (homoclimas), BIOCLIM genera mapas que muestra la distribución potencial de las especies.

Dentro de sus requerimientos, el programa BIOCLIM necesita de un Modelo Digital de Elevación del área en estudio (MDE) y el conjunto de puntos georreferenciados de sitios donde la especie ha sido localizada, con ellos se genera un perfil bioclimático que sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados y los compara con los atributos climáticos de un conjunto de celdas generados por el MDE (Fisher *et al.*, 2001), tal comparación permite identificar sitios con clima adecuado para la especie (dominio climático). Diferentes trabajos en el que se ha utilizado el BIOCLIM, para generar áreas de distribución, han definido dos tamaños principales de área: el *core domain* o dominio central y el *range domain* o dominio extenso (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).

El dominio central se define por un conjunto de celdas que registran homoclimas para la especie dentro de valores porcentuales que caen en el intervalo de 5-95% y el dominio extenso incluye celdas que caen en valores porcentuales de 0-100% del área total estimada donde pudiera encontrarse la especie. El perfil bioclimático se genera a partir de la utilización de diferentes parámetros (ecológicos-ambientales), el programa calcula para cada atributo los valores mínimos y máximos su promedio y su desviación estándar (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004).



Por otro lado, el **GARP** es un sistema que permite generar una serie de posibles modelos llamados reglas y toma como base el nicho ecológico fundamental. Este sistema está inspirado en el concepto de evolución por selección natural, basada en la idea de solución evolutiva de los problemas en un camino análogo a la evolución de los organismos (Feria, 2001).

El nicho ecológico de una especie no solo comprende el espacio físico ocupado por un organismo sino también su participación funcional dentro de la comunidad y su posición en los gradientes ambientales de temperatura, humedad, pH y otras condiciones de existencia. En consecuencia el nicho ecológico de un organismo no solo depende de donde viva, sino además, de la suma total de sus necesidades ambientales (Hutchinson *et al*, 1959 y MacArthur, 1972; Odum, 1985). El concepto de nicho ecológico adquiere su máxima utilidad y puede ser aplicable cuantitativamente, tomando en cuenta los aspectos funcionales, es decir, hacer una medición de cada uno de los requerimientos en los cuales la especie se puede desarrollar, Hutchinson les da el nombre de dimensiones y la suma de todas las dimensiones en la que se encuentra el organismo dará como resultado el nicho ecológico fundamental. De esta forma el GARP fue hecho bajo este fundamento, el nicho ecológico fundamental, que en resumen es la suma de todas las condiciones ambientales que permiten el desarrollo de las especies.

El GARP se diseñó bajo el lenguaje C vinculados con scrip PERL. Los datos ambientales se almacenan en formatos ráster en escalas de grises, también llamados capas, teniendo como valor un bite por celda y los datos de presencia se seleccionan al azar y se hacen dos submuestras denominadas el *train* y *test*; con los datos del *train* se construye el modelo y con los datos del *test* se comprueba el modelo (Feria, 2001). Este sistema está dividido en ocho programas *rasterize*, *presample*, *initial*, *explain*, *verify*, *predict*, *image*, y *traslat* (Cuadro 1).

Programa	Función
<p>Preparación de los datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Rasterize ❖ Presample 	<p>Convierte archivos de datos espaciales a formato raster.</p> <p>Produce conjuntos de datos de entrenamiento y de prueba por muestreos aleatorios</p>
<p>Desarrollo del modelo</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Initial ❖ Explain 	<p>Desarrolla el modelo inicial.</p> <p>Refina el modelo usando el algoritmo genético.</p>
<p>Aplicación del modelo</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Verify ❖ Predict 	<p>Provee verificación predictiva de la información en una serie de reglas resultantes.</p> <p>Toma el modelo y predice la probabilidad de cada Valor.</p>
<p>Comunicación del modelo</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Image ❖ Translat 	<p>Toma las probabilidades predichas y produce un número de resultados en formato de imagen requerido.</p> <p>Toma el modelo y forma una explicación de las reglas en lenguaje natural.</p>

Cuadro 1. Muestra una breve descripción de los componentes del sistema GARP. Tomado y modificado de Feria (2001).



EXPLAIN es el programa central y es el que desarrolla el modelo. El modelo está compuesto por una serie de reglas de relación SI ENTONCES, en el momento que no se presenten ciertas condiciones la regla no se usa, dicha serie se desarrolla a través de un refinamiento evolutivo, probando y seleccionando reglas en subserie aleatorias de una serie de datos. La serie es una lista de reglas no ordenadas, en donde cada serie tiene la misma preferencia.

En general el GARP es un método que trabaja en un proceso de selección de reglas, hace la evaluación, comprobación e incorporación. Primero se elige de una serie de posibilidades (reglas de bioclimas, regresión logística), posteriormente se aplica a los datos y se desarrolla una regla (Feria, 2001). El motivo por el que se desarrolló este sistema fue el de minimizar el error de sobrepredicción es decir, maximiza la significancia y exactitud de la predicción. La significancia se establece por medio de una prueba de X^2 . Una vez obtenidas las predicciones son transformadas en imágenes (Feria, 2001).



OBJETIVOS

- ☞ Descripción la distribución ecológica de *Bursera linanoe*.
- ☞ Realizar un análisis bioclimático a través del uso de modelos que predicen el área de distribución BIOCLIM y algoritmos genéticos GARP, para proponer un modelo que mejor represente la distribución de la especie.
- ☞ Proponer el área de distribución potencial para *Bursera linanoe*.



ÁREA DE ESTUDIO

Históricamente la delimitación del área en la que se encuentra distribuida *Bursera linanoe*, ha representado un trabajo difícil de realizar, por lo que en diferentes estudios solo nos indican las localidades y estados en los que ha sido observada y recolectada, en ocasiones se definen las cuencas en la que se localiza la especie. Sin embargo un estudio realizado por Kohlmann y Sánchez en (1984), sugiere un área de distribución para *B. linanoe*. Los trabajos realizados por Rzewdoski y Kruse (1979), Kohlmann y Sánchez (1984), Toledo-Manzur (1994) Rzewdoski, (2004) y Rzewdoski *et al*, (2005), sugieren que *B. linanoe* se encuentra distribuida en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla. Se dice que es una especie propia del sector oriental de la depresión del Balsas y también de las cuencas del Papaloapan y del río Tehuantepec (Fig. 6). Sin embargo en la actualidad no hay un sólo trabajo que delimite el área ocupada por la especie, sólo se concretan a sobreponer los puntos de muestra en el mapa de cuencas hidrológicas y estados de México, sin que señale o delimite el área de distribución de *B. linanoe*.

Así con estos antecedentes nos concretamos solo a dos regiones, la parte Oriente de la Depresión del Balsas y la parte Alta de la Cuenca del Papaloapan. La parte alta del Papaloapan abarca alrededor de 21,000 km² con terrenos de topografía en su mayor parte sumamente accidentada. Constituye una faja alargada en dirección NW-SE, de cerca de 280 Km. de largo y de 75 Km. de ancho en promedio. Sus coordenadas externas son 16° 42' y 19° 03' N, 95° 42' y 97° 52' W (Rzewdoski, 2004). La Depresión del Balsas tiene una extensión de 64, 128.60 km², considerada como provincia biótica, se ubica dentro de la región Caribe y el reino Neotropical. Se extiende en los estados de Guerrero, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla, al norte queda limitado por el Eje Neovolcánico Transversal y hacia el sur por la Sierra Madre del Sur su coordenadas externas son 17° 00' y 19° 00' N y 103° 00' y 98° 00' W (Feria, 2001) (Fig. 6).

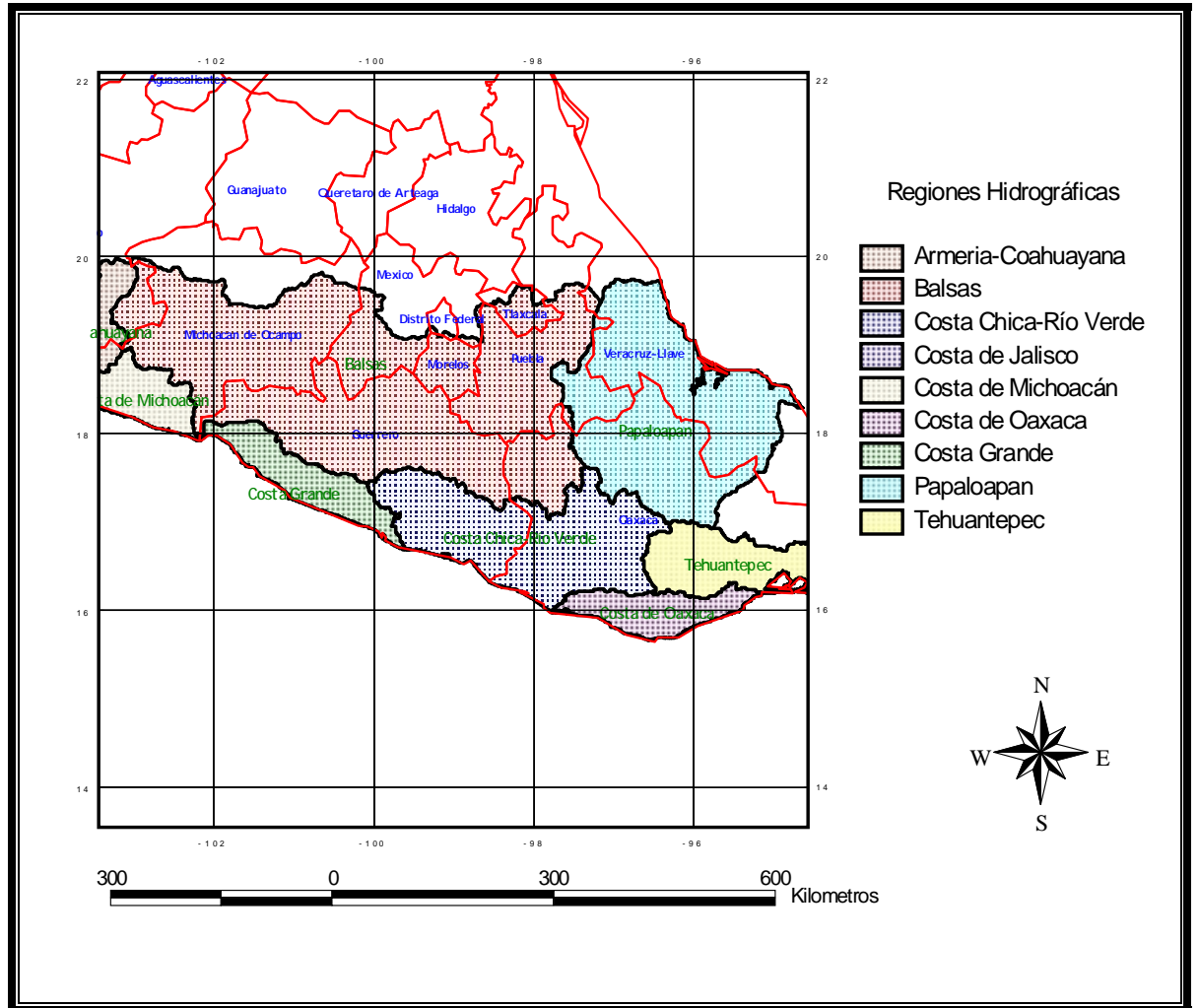


Figura. 6 Área de estudio Regiones hidrológicas.



MÉTODOS

OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Se realizó un revisión exhaustiva de especímenes de *Bursera linanoe* de herbarios nacionales, como el Herbario Nacional de México (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM, el Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN, del Bajío del Instituto de Ecología A.C. (IEB), la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FEZA) y Facultad de Ciencias UNAM, que se complementaron con recolectas en campo, la cual involucró seis salidas con una duración de tres días, cada una de las salidas se realizaron durante los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2002 y 2003. Se hicieron colectas en localidades como los ríos Balsas, Coahuayana, Papagayo, Salado (Valle de Tehuacan-Cuicatlán cuenca alta del Papaloapan) y Tehuantepec.

Los especímenes colectados en campo se determinaron taxonómicamente (Toledo-Manzur, 1982, Rzedowski, 2004) para separar todas las unidades distinguibles con morfología similar. Cada localidad registrada fue georreferenciada se estableció la distribución real de las especie en el área.

Los registros se integraron en un base de datos sobre el modelo Biótica versión 4.1 (CONABIO, 2003), posteriormente se realizó la depuración de la información taxonómica y geográfica de acuerdo con literatura taxonómica y con el gacetero geográfico INEGI, sobre ArcView 3.2. Los estados, municipios y Regiones Terrestres Prioritarias (RTPs) se validaron usando la cartografía de Biótica 4.1. A partir de este sistema se generó una consulta obteniendo información taxonómica de los especímenes, la localidad de registro, altitud y sus coordenadas geográficas, para análisis geográfico y ecológico, mediante el sistema ArcView 3.2 (ESRI, 2000).



DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA

Se realizó una consulta de información ecológica relevante de la especie con mapas digitales (tipo de vegetación, precipitación, temperatura, suelo, elevación, humedad), además de revisar la distribución dentro de las cuencas hidrológicas propuestas por la Comisión Nacional del Agua. Con la finalidad de encontrar alguna correspondencia de las localidades registradas para la especie, se ubicaron y se hizo una sobreposición con los mapas de Tipos de vegetación del (INEGI, 2000), Isotermas (García y CONABIO, 1998) (líneas que marcan los lugares que tienen la misma temperatura en grados centígrados), Isoyetas (García y CONABIO, 1998) (líneas que marcan los puntos en la tierra, que tienen la misma cantidad de precipitación en mm), Suelo (INIFAP y CONABIO, 1995), Elevación (INEGI *et al*, 1990) Régimen de Humedad, Clima (García y CONABIO, 1990) y Cuencas hidrológicas, a través del Sistema Arc View 3.2, utilizando el Geoprocessing Wizard en su apartado de Assing Data by location (Spatial Join). De los mapas obtenidos, se realizó un conteo de frecuencias de localidades con cada variable que presentaban las cobertura utilizadas. Por ejemplo, sí el mapa de altitud presenta diferentes rangos de altitud en metros, se contabilizó cuantas localidades se registraban en cada rango de altitud, así del mismo modo se realizó con cada una de las variables ambientales.

Posteriormente se formuló una tabla en MS EXCEL 2003. En las filas se colocaron las variables de cada uno de los mapas y en las columnas se colocaron los registros de la especie. Después se graficó, y se obtuvo la distribución ecológica de la especie. Por ultimo se hizo una ficha de diagnosis en la cual se describe su distribución ecológica.



DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.

Se realizó una consulta de la base de datos BIOTICA versión 4.1 para el análisis geográfico, de la siguiente manera: 1) descripción de las localidades de recolecta para determinar coordenadas geográficas y los atributos de hábitat de cada especie (elevación, exposición, pendiente, suelo, precipitación y clima) que fue analizada mediante el sistema ArcView 3.2, 2). Se utilizaron dos métodos para crear modelos de áreas de distribución potencial con BIOCLIM (Nix 1986) y un algoritmo genético (GARP) (Stockwell 1999). Por último, los datos resultantes de la predicción se desplegaron en ArcView 3.2 utilizando el módulo de análisis espacial para su posterior análisis. Se obtuvieron 128 puntos georreferenciados. Solo se consideraron localidades únicas obteniendo 82 registros que se utilizó para elaborar el área de distribución de *Bursera linanoe*. Para la validación de los modelos, se usó 21 localidades diferentes obtenidas a partir de salidas de campo y registros correspondientes al año 2004.

Modelo BIOCLIM

Este modelo ha sido descrito con detalle por Nix (1986) y Lindenmayer *et al*, (1991). Para el análisis climático, BIOCLIM necesitó de un modelo digital de elevación (MDE) del área de estudio y la mitad de los puntos georreferenciados (latitud y longitud). Con ellos fue generado el perfil bioclimático, el cual sintetiza las condiciones climáticas de los sitios analizados comparándolos con los atributos climáticos de un conjunto de celdas generados en un archivo denominado BCP (archivo de parámetros bioclimáticos) con el MDE y las coberturas climáticas (Villaseñor y Téllez, 2004, y Téllez, 2003). El perfil se generó utilizando 19 parámetros presentados en el (cuadro 2) llamados variables, BIOCLIM calculó para cada tributo los valores mínimos y máximos, promedio y la desviación estándar.



De esta manera, fue posible elaborar los modelos de predicción, generados como archivos en formato ASIIGRID, ARCINFO, a través del programa BIOMAP del paquete ANUCLIM, incluido en BIOCLIM. El modelo utilizado en el trabajo consistió en celdas de 30 segundos (aproximadamente 1 km² de superficie) de resolución espacial (Fig. 7).

Por último, se identificaron las áreas definidas por el sistema que representan los ambientes climáticos adecuados (homoclimas) en las que puede prosperar la especie, a través de las celdas que presentaban límites con valores máximos porcentuales que van de 0-100% del área estimada del Dominio en Extenso. De esta forma, se tomó en cuenta los valores extremos obteniendo un mapa de celdas (formato *raSTERö*). Así fue posible representar en mapas de distribución potencial el área aproximada de la especie, generados en el SIG ArcView 3.2 (ESRI, 2000) (Fig. 7).



Cuadro 2. Parámetros utilizados por el BIOCLIM y GARP para la generación de mapas de distribución potencial para *Busrera linanoe*.

1. Temperatura promedio anual (°C)
2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
3. Isothermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
4. Estacionalidad de la temperatura (% de coeficiente de variación)
5. Temperatura máxima promedio del periodo mas cálido (°C)
6. Temperatura mínima promedio del periodo mas frío (°C)
7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (Coeficiente entre parámetros 5y 6)
8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
9. Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
11. Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
12. Precipitación media anual (mm)
13. Precipitación del periodo mas lluvioso (mm)
14. Precipitación del periodo mas seco (mm)
15. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación. en %)
16. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
17. Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
18. Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
19. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

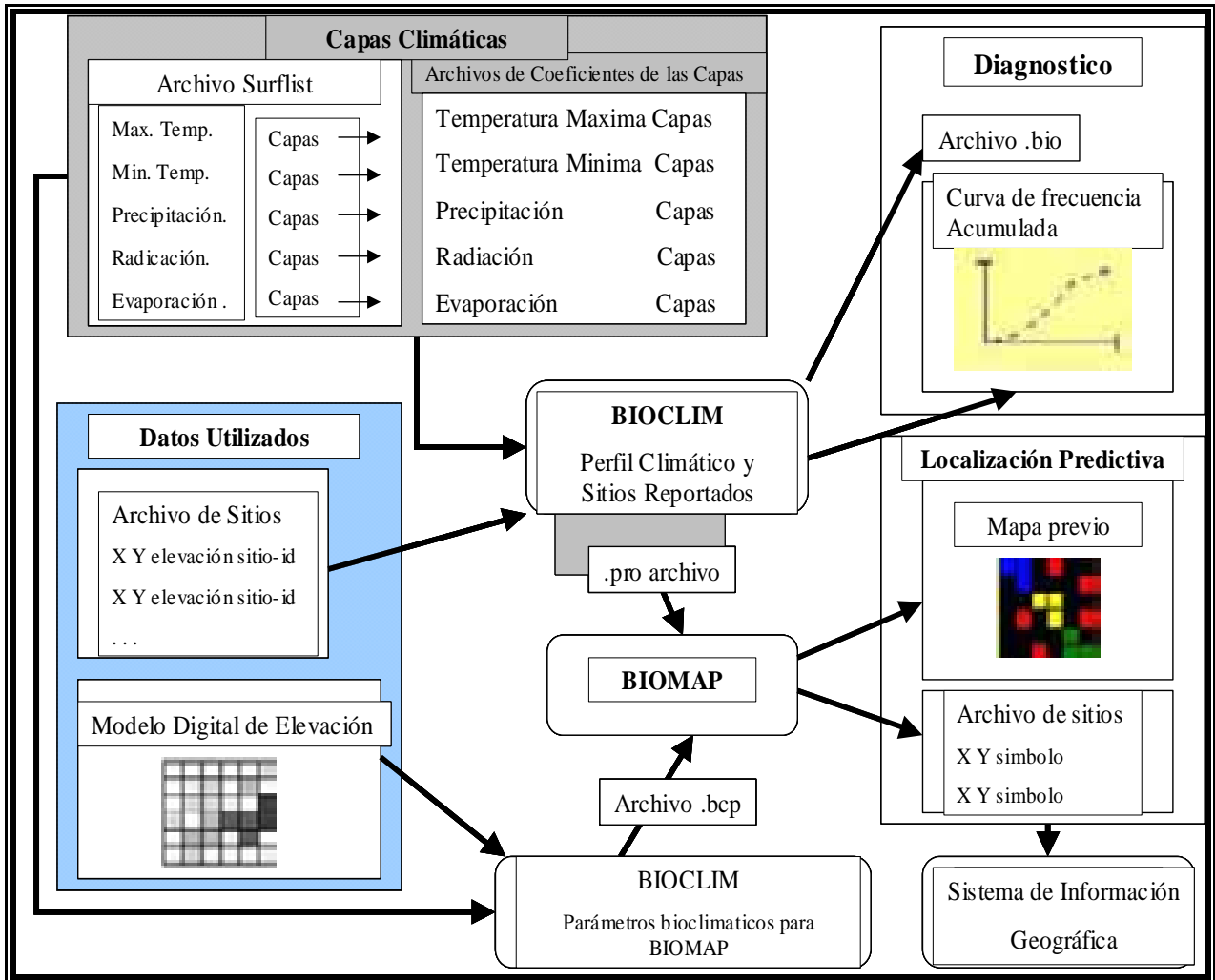


Fig. 7. Proceso general del programa BIOCLIM para la generación del perfil bioclimático y el mapa de distribución potencial (BIOCLIM 3.18)



Modelo GARP

El algoritmo genético GARP es un sistema muy parecido a la llamada inteligencia artificial. Este sistema busca representar el área potencial de una especie en un mapa de distribución potencial, a partir de la identificación del nicho ecológico donde la especie puede prosperar.

Para generar los modelos de distribución potencial, se usaron los mismos puntos georreferenciados que se usaron para el BIOCLIM (localidad, latitud y longitud). Se utilizaron 19 parámetros (variables) que proporcionan una caracterización de las variaciones anuales en la temperatura y niveles de disponibilidad de humedad (Cuadro 2). Se utilizaron los 82 registros como puntos de entrenamiento y 21 como puntos de prueba. Se ejecutaron análisis consecutivos con un máximo de 1000 iteraciones, con un límite de convergencia de 0.001 por especie. Estos parámetros son valores establecidos en el programa y controlan el comportamiento del algoritmo genético (Fig. 8).

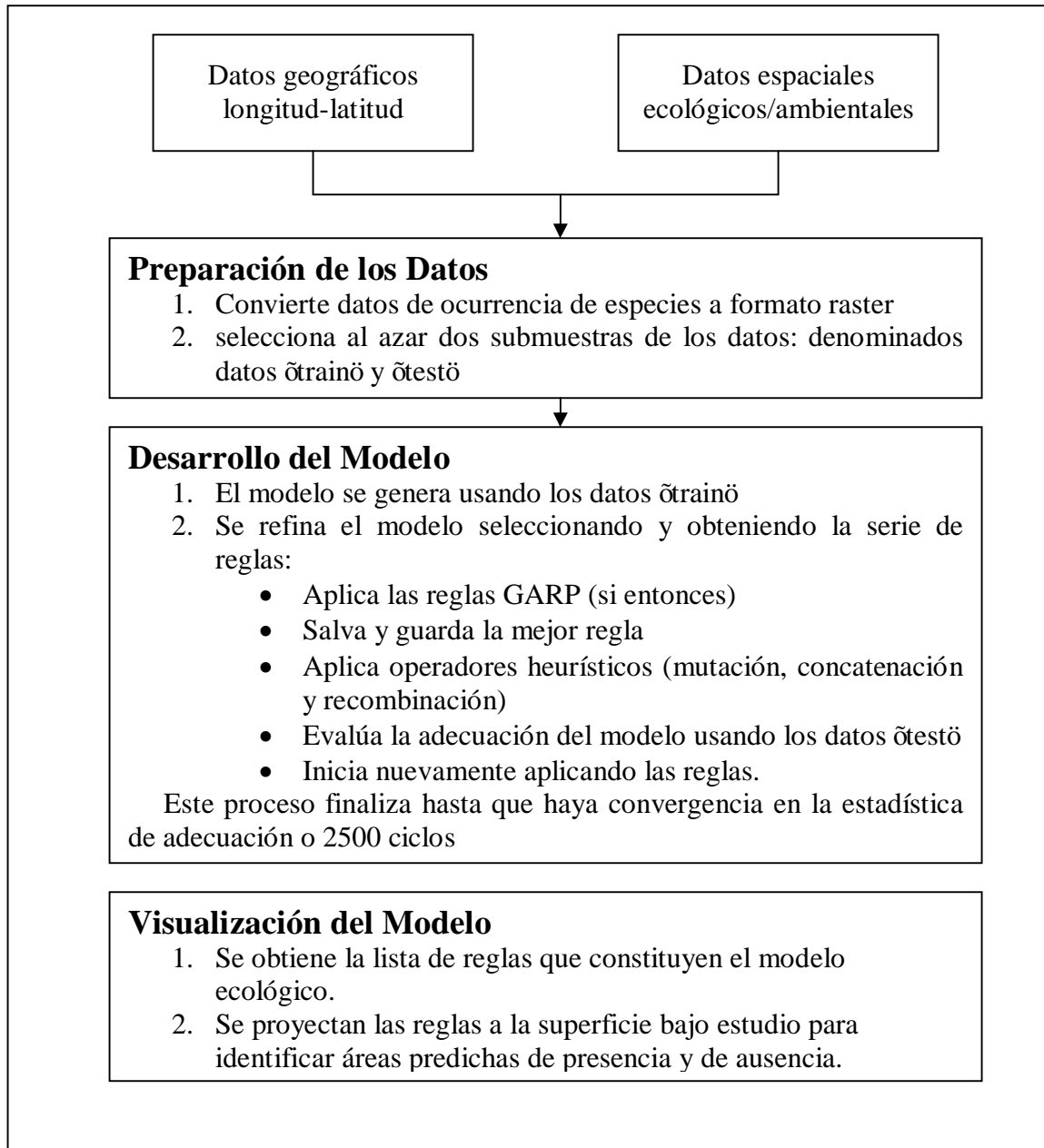


Fig. 8. Proceso general del programa GARP para la generación del modelo potencial de distribución de la especie. Tomado de Feria (2001)



Se generaron 100 modelos, para poder tener un mínimo de mapas significativos. Los modelos resultantes de la predicción se exportaron en formato ASCII grid para ser representados en el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000), utilizando el módulo de análisis espacial para su posterior análisis.

De los 100 mapas resultantes se eligieron aquellos que tenían menos del 5% de error en omisión externa y comisión cercana al promedio del error de comisión de todos los mapas. Esto se obtuvo a partir de los valores de error de omisión y de comisión generados por el modelo, mediante una prueba de independencia X^2 , para determinar si los mapas eran estadísticamente diferentes a un mapa que se obtendría por una distribución de puntos al azar. De los mapas resultantes, se eligieron un máximo de diez mapas para la especie, con el programa ArcView 3.2 (ESRI, 2000) se sobrepusieron cada conjunto de mapas con la función `õmap calculatorö`, para obtener un consenso de mayoría mediante la suma de los mejores mapas, para obtener el mapa final del área potencial de distribución de *Bursera linanoe*.

Validación de los Modelos Predictivos

La validación de las áreas predeterminadas por los modelos, se hizo a partir de análisis estadísticos, por un lado se estimaron los errores de omisión y comisión, medidas que permiten evaluar el potencial del modelo. Otro de los análisis utilizado fue el de Caracterización Operativa Receptora (ROC por sus siglas en ingles) (Wiley *et al*, 2003). Este estadístico evalúa la especificidad (la ausencia por el error de comisión) y la sensibilidad (la ausencia por el error de omisión), estas dos medidas nos hace un diagnostico generando las curvas ROC, las cuales permitieron evaluar de forma estadística, el modelo que represento la mejor predicción del área potencial de distribución de *Bursera linanoe*. La evaluación de los modelos se realizó tomando en cuenta datos de presencia-

ausencia confirmados, es decir, mediante visitas a campo se corroboró si la especie se encontraba o no en el sitio. Los datos que se utilizaron para la evaluación son distintos a los tomados para la elaboración de los modelos, fueron ordenados como se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Muestra los datos utilizados para la evaluación de los modelos generados por BIOCLIM Y GARP.

# De localidad	Presencia/ ausencia	Longitud (x)	Latitud (y)	BIOCLIM	GARP
1				0, 1, 2, 3 o 4 según sea el caso, es decir, el valor 0 representa ausencia total y	
2	Si fue recolectada es 1	Datos de las localidades de validación		1 a 4, frecuencia en los mapas o rangos de la predicción en que se registró o no la especie.	
3					
4	si no fue recolectada es 0				
5					
Hasta 40					

Para determinar la sobreestimación para las áreas de distribución potencial, generadas a partir de los modelos de predicción, se hizo una tabla de confusión (Cuadro 4) (presencia/ausencia), tomando en cuenta los datos del Cuadro 3

Cuadro 4. Datos utilizados para calcular el error de omisión y el error de comisión: a) especie predicha y observada (aciertos), b) especie predicha y no observada (comisiones), c) especie no predicha y observada (omisiones) y d) especie no predicha y no observada (aciertos)

	Observados	
	Si	No
Predichos	a	b
	c	d



Área de Distribución Potencial de *Bursera linanoe*

Una vez que se determinó estadísticamente el mejor modelo que representa el área de distribución potencial para *Bursera linanoe*, se procedió a obtener el área histórica de en la que probablemente se distribuyó la especie, ya que el área obtenida a partir de los modelos no refleja dicha zona en forma histórica, así el área que pudo ser predicha puede presentarse en zonas no habitadas por la especie debido a factores históricos-ecológicos. De esta forma fue necesario hacerle ajustes al mapa, para obtener el área de distribución potencial de *Bursera linanoe*, a partir de una serie de criterios en relación con el clima.

Para el caso de BIOCLIM se tomó en cuenta el *domino extenso*, es decir celdas del mapa donde las condiciones climáticas se ubicaron en un intervalo máximo de tolerancia. Para el GARP se realizó una suma de mapas para obtener un mapa de consenso, con el fin de integrar el área en uno solo y así elaborar el modelo de distribución potencial para la especie.

Por último se eliminaron zonas de sobrepredicción usando el mapa de cuencas hidrológicas, de esta forma se toma en cuenta el aspecto histórico, es decir las barreras geográficas que delimitan el área de distribución. Se sobrepuso el mapa digital de cuencas hidrológicas de la Comisión Nacional del Agua publicadas, por CONABIO (1998) sobre los modelos obtenidos, se tomó en cuenta las citas publicadas donde se ha registrado la existencia de la especie (Toledo-Manzur, 1982; Kohlmann y Sánchez 1984; Rzedowski, 2004 y Rzedowski *et al.*, 2005). Así la capa del modelo se editó haciendo un clip en ArcView 3.2 (ESRI, 2000) con la capa de cuencas hidrológicas, utilizando la extensión *geoprocessing wizard*. Los mapas que se obtuvieron se corroboraron con literatura específica y con la opinión del experto. Así el área editada se considera como área de distribución geográfica potencial, en un sentido biogeográfico-histórico.



RESULTADOS y DISCUSIÓN

Distribución Ecológica

Para conocer la distribución ecológica de *Bursera linanoe* se consideraron aspectos: tipo de vegetación, suelo, altitud, temperatura, precipitación y humedad con base en mapas digitales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998) y el mapa de tipo de vegetación se obtuvo de INEGI, 2000.

Bursera linanoe habita principalmente en selvas bajas caducifolias o selvas tropicales caducifolias seguido del matorral xerófilo, ya sea como integrante primordial de las selvas tropicales caducifolias (Rzedowski y Kruse, 1979) (Fig. 9), de acuerdo con lo observado cabe señalar que *Bursera linanoe* fue frecuentemente observada como parte de las cercas vivas en los campos de cultivo o en zonas de pastoreo.

Se encontró que *Bursera linanoe* prospera en un intervalo altitudinal que va de los 500 a 1500 m, aunque la mayoría de los registros se localizaron entre 1000 y 1500 msnm, sin embargo Rzedowski *et al* (2005) la registra desde 650 hasta 1500 m, altitudes que se presentan a lo largo de la parte oriental de la Depresión del Balsas, la parte alta del Papaloapan y del río Tehuantepec donde prospera a los 1400 m (Fig. 10).

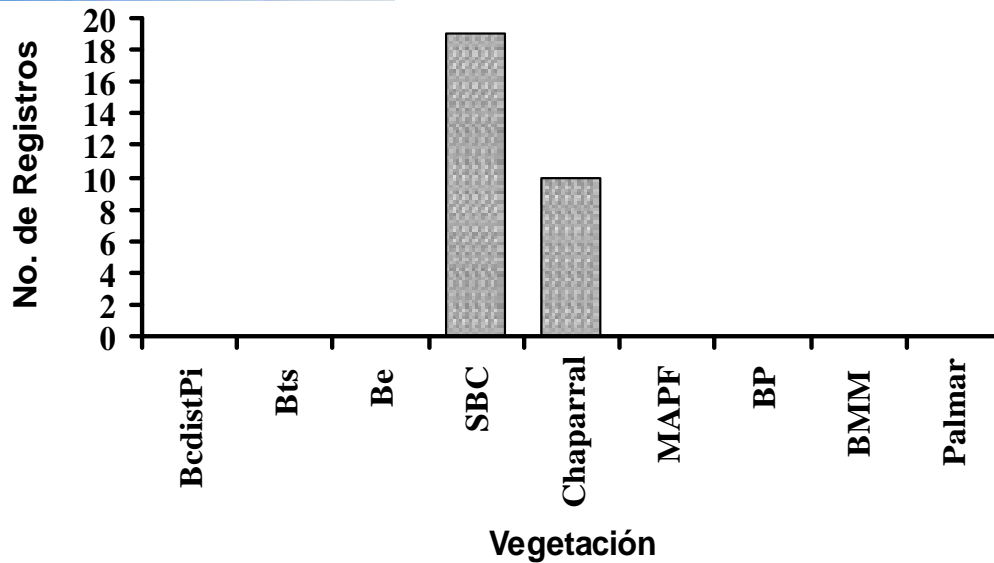


Fig. 9. Tipos de vegetación en los que se distribuye *Bursera linanoe*. BcdistsPi = bosque de coníferas distinto a pino, Bts = Selvas tropical subcaducifolia, Be = bosque de encino, SBC = selva baja caducifolia, BP = bosque de pino, BMM = bosque mesófilo de montaña.

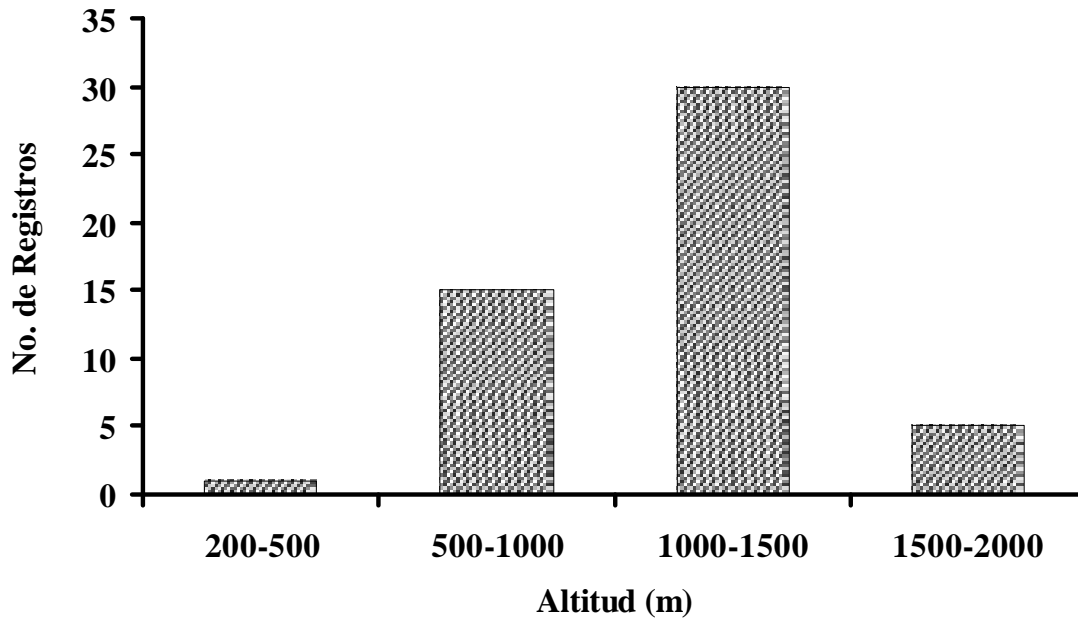


Fig. 10. Rango altitudinal en el que se distribuye *Bursera linanoe*.

Bursera linanoe se distribuye en suelos jóvenes de reciente formación, la mayoría son de depósitos aluviales y casi todos con un horizonte cálcico. Son suelos poco profundos, derivados de rocas calizas o bien sobre rocas calizas. De acuerdo con la información de CONABIO basada en la nomenclatura de la FAO, la especie primordialmente se encuentra en suelos de tipo Litosol, Regosol, así como Feozem y Redzinas (Fig.11). De acuerdo con Rzedowski (2004) las selvas tropicales caducifolias, donde habita la especie se sustentan sobre suelos limitados, de poca profundidad con afloramiento rocoso continuo y coherente, son suelos delgados y se localizan entre rocas, ricos en materiales calcáreos.

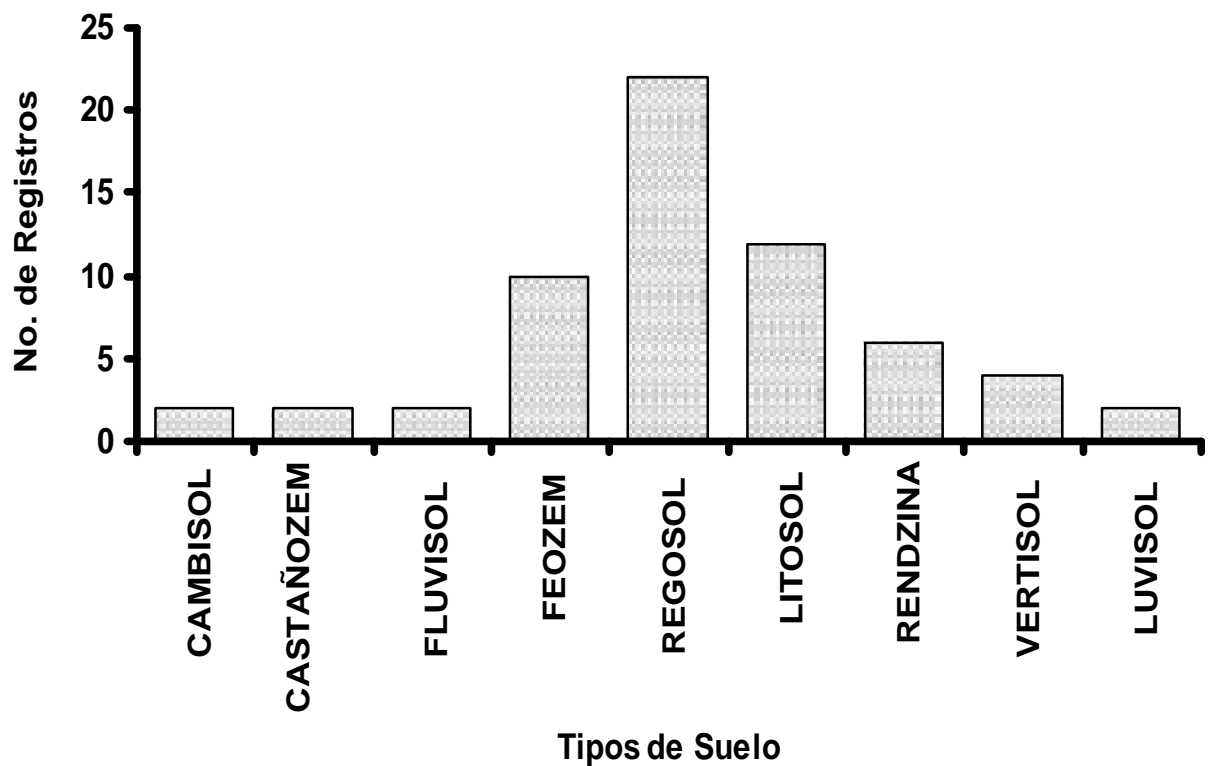


Fig. 11 Tipos de suelos en el que se distribuye *Bursera linanoe*

tipos de clima en los que se localiza la especie son de tipo cálido y semicálido. El rango de temperatura en el que se distribuye es de 18 a 26 ° C. Sin embargo, la mayoría de los registros se presentan entre los 22 y 26 ° C (Fig. 12).

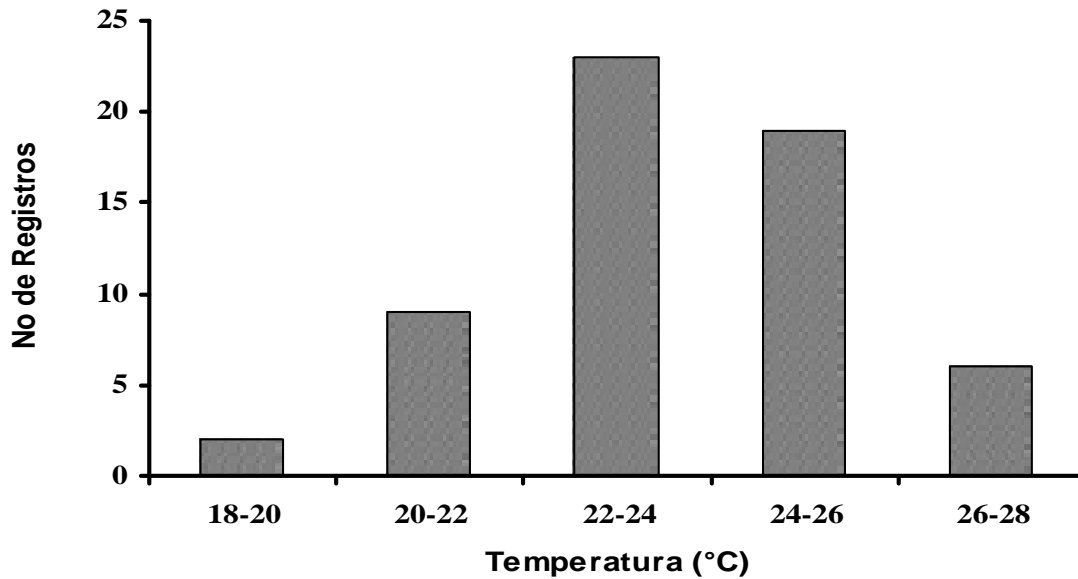


Fig. 12. Temperatura en la que se distribuye la especie *Bursera linanoe*.

En cuanto a la precipitación media anual se tuvieron registros que se presentan en un intervalo que va desde los 500 mm hasta los 1200 mm media anual (Fig. 13).

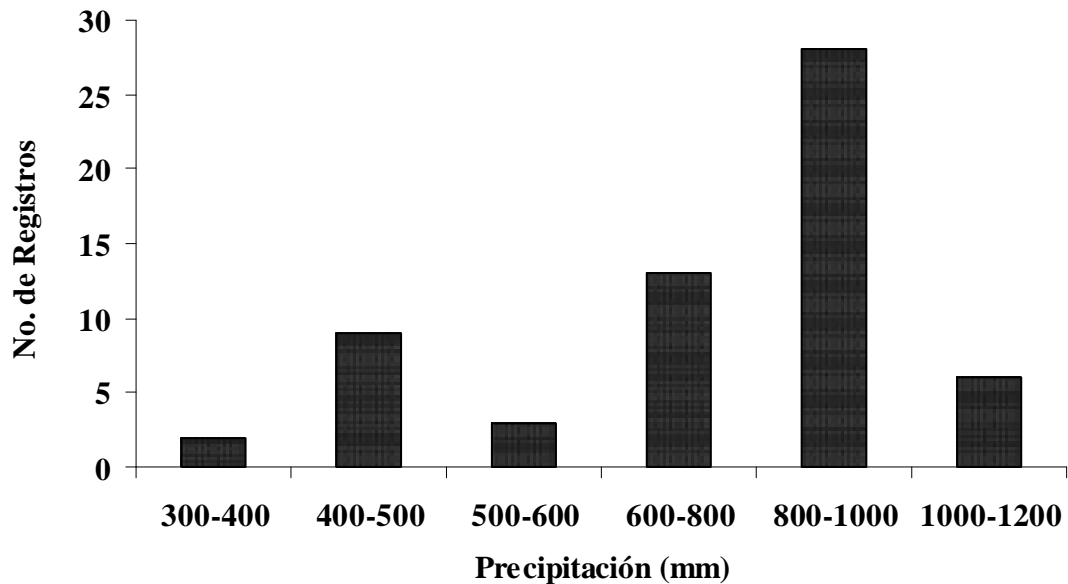


Fig. 13. Rango de precipitación media anual en el que se distribuye *Bursera linanoe*

En Función de la precipitación y la temperatura, la especie se distribuye en un intervalo de Humedad que va desde de los áridos (B_{s0}) y (B_{s5}) y semiáridos, hasta los subhúmedos principalmente en el más seco de los húmedos (w_0), a veces (w_1) y rara vez (w_2). Así, *Bursera. linanoe* se distribuye de manera óptima en el límite entre los secos (B) y los cálidos subhúmedos (Aw) (Fig. 14).

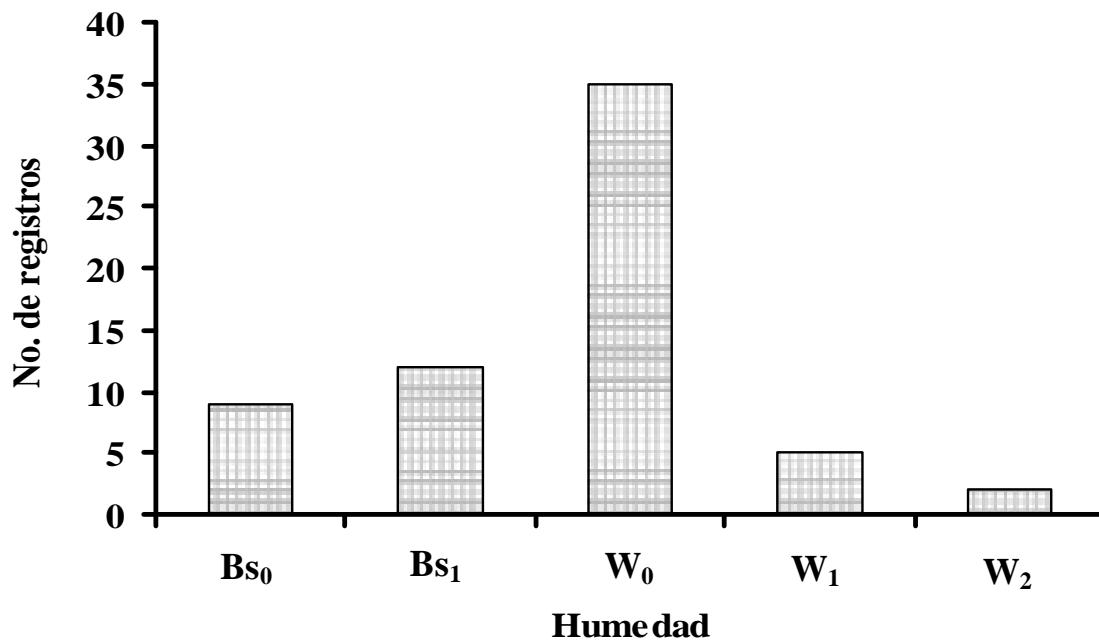


Fig. 14. Rango de humedad registrado para *Bursera linanoe*. B_{s0} = áridos, B_{s1} = semiáridos, W_0 = subhúmedos, W_1 = subhúmedo, W_2 = subhúmedos.



rancia ecológica estrecha, es decir, es una especie estenoeca, siendo un habitante común de la parte oriental de la cuenca del Balsas y de la parte alta de la cuenca del Papaloapan, conocida también como el valle de Tehuacán-Cuicatlán. (Cuadro 5).

VARIABLES AMBIENTALES	<i>Busera linanoe</i>
Tipos de vegetación	Principalmente en selvas bajas caducifolias, algunas veces en matorral xerófilo
Altitud	500 a 1500 msnm
Tipos de suelos	Primordialmente se encuentra en suelos de tipo Litosol, Regosol, así como Feozem y Redzinas
Temperatura	18 a 26 ° C
Precipitación	500 a 1200 mm
Humedad	Áridos y semiáridos (Bs ₀) y (Bs ₁) y en los subhúmedos desde el mas seco hasta el mas húmedo (w ₀), (w ₁) y (w ₂) (Fig. 6).

Cuadro 5. Principales variables en las que se Distribuye *Busera linanoe*

Distribución Geográfica

Se obtuvieron 80 registros con georreferencia (latitud, longitud y elevación) a partir de colectas hechas en campo y de las colecciones científicas de los herbarios nacionales. Las siguientes Figs 15-19, 23 y 24 muestran los pasos sucesivos para la obtención del área de distribución potencial de *Bursera linanoe*, a partir del modelado del *nicho ecológico* y el *dominio climático*, partiendo de los datos puntuales de ocurrencia (Fig.15), hasta su expresión en un mapa sobre la geografía de México.

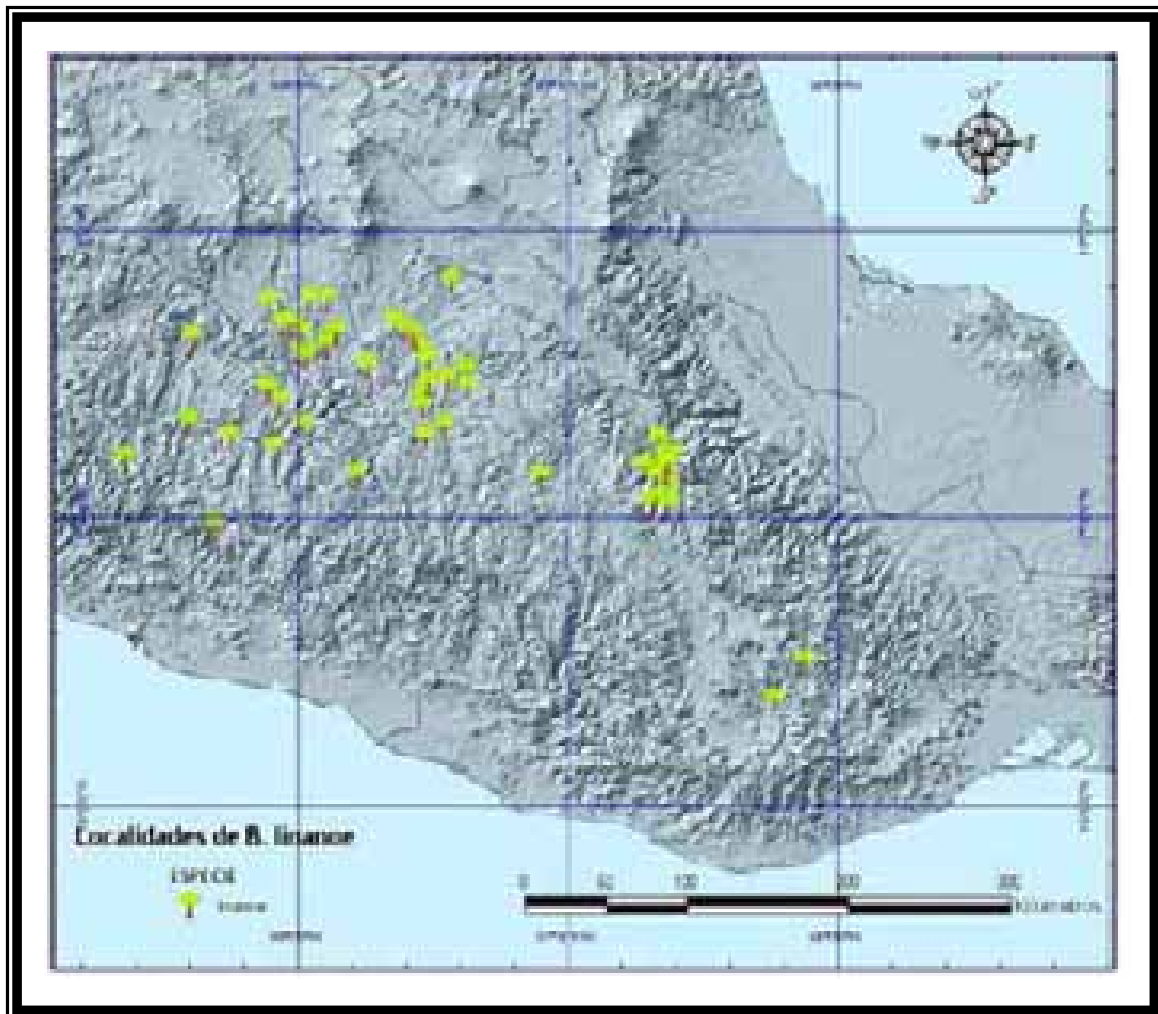


Fig. 15. Datos puntuales de ocurrencia para *Bursera linanoe*



En las Figuras 16 y 17 se muestran los modelos obtenidos a través de la distribución del dominio climático (BIOCLIM) y del nicho ecológico (GARP) respectivamente, donde se reconoce las áreas predichas para *Bursera linanoe*. En ambos casos la mayoría de sitios de recolecta se ubicaron dentro del área de distribución potencial. El modelo que se obtuvo mediante el BIOCLIM, a partir del *dominio climático* en *extenso*, celdas que predicen la distribución geográfica y caen dentro del intervalo que va del 0-100 el área total estimada (Fig.16). El modelo de GARP se obtuvo a partir de un mapa de consenso, es decir se tomaron en cuenta los diez mejores modelos que presentaron una mayor significancia validada con una prueba de X^2 (Fig.17).

En general las áreas de distribución obtenidas por ambos modelos destacan dos aspectos importantes. El primero tiene que ver con la cantidad de celdas que describen la potencialidad de encontrar la especie, mientras que, BIOCLIM presenta un menor número de celdas predichas, el GARP tiende a producir áreas más amplias. El segundo aspecto tiene que ver con la distribución real de la especie, BIOCLIM tiende a ser mucho más preciso y a reducir el número de celdas predichas para la especie (error de comisión), hace que el área sea más exacta y se aproxime más a la realidad (Fig. 16), tomando en cuenta los sitios de colecta. Por otra parte GARP considera más amplia la zona de distribución y por ende tiene menor precisión (Fig. 17). Para evaluar la predicción de ambos modelos, se utilizaron diferentes medidas de exactitud y error. Primero se calcularon los errores de omisión (especie no predicha y observada) y comisión (especie predicha y no observada), para ello se enlistaron en total 21 localidades diferentes de las utilizadas para la elaboración del modelo, las cuales se incorporaron en dos matrices de confusión (Cuadros 6 y 7).



IMAGEN 16



IMAGEN 17



Predicción	Observados		total
	presencia	ausencia	
presencia	8	6	14
ausencia	2	5	7
total	10	11	21

Cuadro 6. Matriz de confusión creada para los datos de comprobación del modelo de GARP

Predicción	Observados		total
	presencia	ausencia	
presencia	8	1	9
ausencia	2	10	12
total	10	11	21

Cuadro 7. Matriz de confusión creada para los datos de comprobación del modelo BIOCLIM



	Valor
Comisión	0.55
Omisión	0.20

Cuadro 8. Medidas de exactitud derivadas de la matriz de confusión para GARP.

Medidas	Valor
Comisión	0.1
Omisión	0.2

Cuadro 9. Medidas de exactitud derivadas de la matriz de confusión para BIOCLIM.

A partir de los datos que se muestran en los cuadros 6 y 7 se obtuvo un porcentaje bajo para el error de Omisión que fue del 20% para ambos modelos, es decir, se presentaron pocas localidades en las que se registró a *Bursera linanoe* y los modelos no las predijeron. Así las localidades de San Pedro Totoltepec y Acatepec se ubicaron fuera del modelo que se construyó para BIOCLIM (Fig. 18), mientras que, las localidades que no se localizaron dentro del modelo generado por GARP (Fig. 19), fueron San Pedro Totoltepec y los alrededores de San Rafael, Municipio de Cuxcatlán Puebla, de esta forma vemos que ambos modelos tienden a ser buenos predictores para la especie, omitiendo muy poco las zonas en las que se puede encontrar la especie, no obstante el error por omisión es importante ya que éste si se considera como error al momento de modelar, dado de que deja localidades donde la especie fue registrada. Para el caso de *Bursera linanoe* es un error poco relevante con respecto al área de distribución para la especie, ya que presenta un porcentaje bajo en la omisión. Sin embargo, se presenta una diferencia con respecto al error de Comisión, se observa en el (Cuadro 8) un valor alto de más del 50% para GARP (Fig. 18), en cambio para BIOCLIM (Fig. 19) muestra un 20% (Cuadro 9).



Los resultados demuestran un alto porcentaje para el error de comisión (falsos positivos) y bajo para el error de omisión (falsos negativos). Sólo en 10 de las 21 localidades se encontró la especie. De los 10 puntos positivos, ocho de 10 el GARP los identificó correctamente como presencia, solo dos los identificó como ausencia. Para los 11 puntos donde la especie esta ausente, el GARP identificó seis como presencia y cinco los identificó correctamente como ausencias.

Ahora bien, para BIOCLIM vemos que de las 10 localidades que fueron positivas ocho fueron correctamente predichas y dos las identificaron como ausencias; para las 11 localidades de ausencia observamos que 10 puntos estuvieron correctamente predichos, sólo uno lo predijo como presencia. No obstante, observamos que un poco más de la mitad de los datos fueron predichos correctamente por ambos modelos. Sin embargo, el GARP presenta una mayor área de predicción, lo que hace que el error por comisión aumente en un grado mayor, en cambio BIOCLIM reduce el área predicha y por consecuencia el error de comisión tiende a ser mas bajo. Queda claro que este tipo de medidas de exactitud permiten tener una forma de evaluación precisa para los modelos creados por ambos sistemas (Anderson et al, 2003).



IMAGEN 18



IMAGEN 19



De acuerdo con Wiley *et al*, (2003) y Stockman *et al*, (2006) el análisis con las curvas ROC área bajo la curva (AUC por sus siglas en ingles), hacen posible tener una exactitud de los resultados y permiten tener una clara idea del comportamiento de nuestros datos. Los resultados que se obtuvieron a partir de las curvas ROC y de las áreas bajo la curva (AUC) (Cuadro 10), indican una buena predicción para BIOCLIM; el GARP presenta en términos generales una buena predicción. El análisis de las AUCs de las curvas ROC, nos da como resultado para BIOCLIM un valor de 0.892, en cambio el GARP obtuvimos un valor de 0.833, presentándose una diferencia importante entre el modelo creado por BIOCLIM y el generado por el GARP. Los resultados sugieren que el GARP no es el modelo mas adecuado para que pueda representar el área de distribución para *Bursera linanoe*, en cambio BIOCLIM presenta un valor alto para la AUC y que por lo tanto representa mejor el área de distribución (Fig. 20).

Variables resultado de contraste	Área bajo la curva	Error Estándar	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
			Límite superior	Límite inferior
GARP	0.833	0.090	0.657	1.009
BIOCLIM	0.892	0.082	0.731	1.052

Cuadro 10. Valores obtenidos a partir de los datos de comprobación mediante el análisis de las curvas ROC (área bajo la curva AUCs).

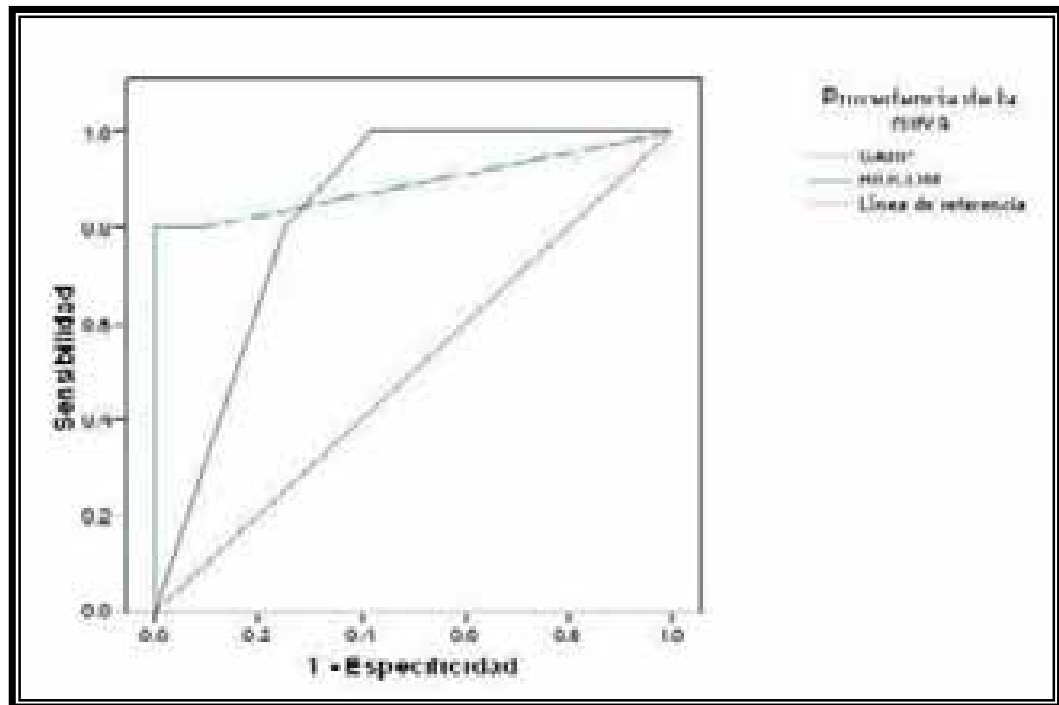


Fig. 20. Curvas ROC para BIOCLIM y GARP, realizadas con datos de Herbario y Colecta recientemente

Comparando ambos modelos, el GARP construyó áreas en las que se presentan condiciones ambientales similares a las que se registraron en las localidades donde se distribuye *Bursera linanoe*. Como ejemplo, en la Fig. 17 observamos que el modelo predice un área cercana a la costa de Veracruz perteneciente a la cuenca del Papaloapan. Según los registros la especie no se localiza en esa zona sin embargo, se presentan condiciones similares pero no encontramos el tipo de vegetación en el que se distribuye la especie en estudio. Otra de las zonas con un alto porcentaje predictivo es la parte occidental de la cuenca del Balsas, siendo que en esas zonas únicamente encontramos especies emparentadas cercanamente con *B. linanoe*, tal es el caso de *B. heteresthes* hacia el occidente y hacia el sur se presenta *B. coyucensis* (Rzedowski, 2004).



En general, el clima se extiende hacia el oeste y norte del país desde Guerrero pasando por Guadalajara, Michoacán con una alta probabilidad y de Guanajuato hasta Zacatecas con muy poca probabilidad de encontrarla. Hacia el sur observamos que es menor el área predicha, se extiende por casi toda la cuenca del río Tehuantepec, baja por la sierra de Oaxaca donde se presenta una disyunción hacia el estado de Chiapas con una probabilidad muy baja de encontrarla.

Para BIOCLIM observamos que es menor el área predicha para *Bursera linanoe*, sólo se extiende hacia el noroeste del país presentándose en una pequeña porción de la parte occidental de la cuenca del Balsas, se extiende con una baja probabilidad en pequeñas porciones tanto en Michoacán, como en Guadalajara. Hacia el sur del país se limita sólo a una porción de la cuenca del río Tehuantepec, misma en la que se ha registrado la especie (Rzedowski, 2004). De esta forma, los resultados obtenidos a partir de las AUC, ayudan a determinar cuál de los dos modelos se acerca a la distribución geográfica de los registros históricos y actuales de *Bursera linanoe*. Por lo tanto, creemos que BIOCLIM tiene una predicción más cercana a la realidad, sin dejar de lado que solo es una interpretación, o bien un modelado de la distribución geográfica de *Bursera linanoe*.

DISTRIBUCIÓN

Bursera linanoe históricamente se ha registrado en zonas geográficas restringidas, Toledo-Manzur 1982, Kohlmann y Sánchez 1984, Rzedowski 2004 y Rzedowski *et al* 2005 hacen referencia a las zonas en las que se ha observado y registrado a *B. linanoe*. Los estados de la República Mexicana en la que se ha registrado son Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca. Ubicándolas por Cuencas, vemos que el linaloe es una especie perteneciente al sector oriental de la depresión del Balsas, la parte alta del Papaloapan y del río Tehuantepec (Fig. 21).

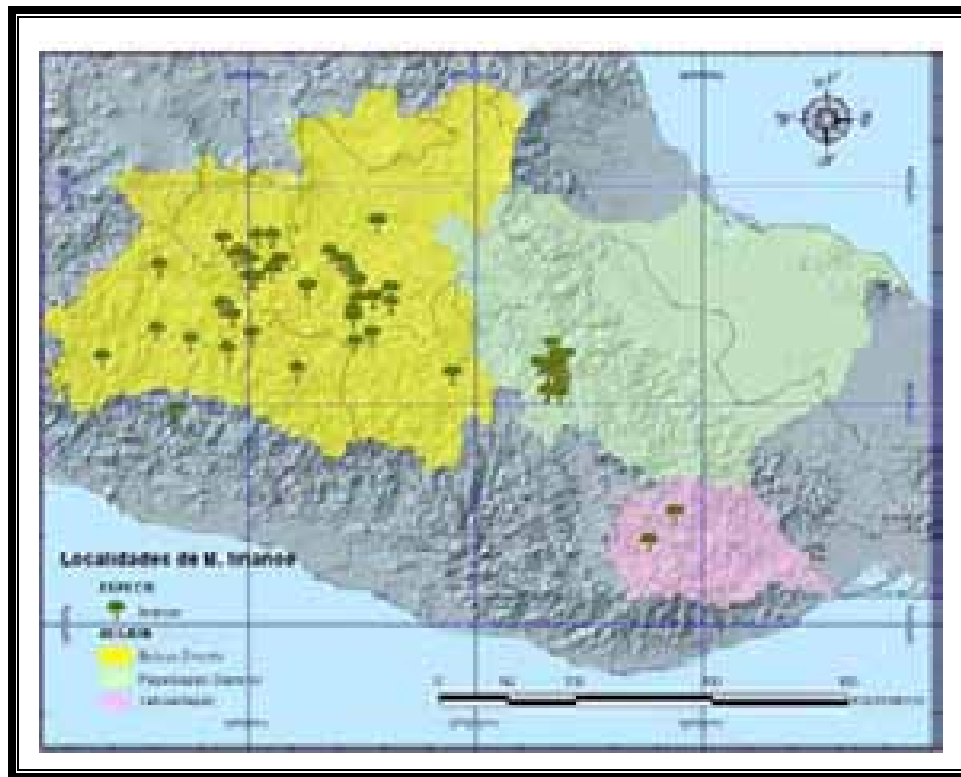


Fig. 21 Distribución geográfica real, con base a los registros históricos y actuales para *Bursera linanoe*, en zonas de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca, a su vez se observan las Cuencas en las que ha sido observada

En particular, de acuerdo con Toledo-Manzur 1982, Kohlmann y Sánchez, 1984, Rzedowski 2004 y Rzedowski *et al* 2005, la Depresión del Balsas es una de las regiones más ricas en especies de *Bursera* (aprox. más de 50 especies), en sus sectores oriental y occidental. Esto hace pensar que las características ecológicas y orográficas de esta zona le son propicias para el desarrollo del género *Bursera*, por lo que se encuentran ligadas a la evolución de las selvas tropicales caducifolias. Sin embargo, selvas de este tipo en otras regiones no presentan tantas especies de *Bursera*, por lo que cabe pensar que es la particular configuración y ubicación del área lo que permite la diversidad y la presencia de endemismos.



La Depresión del Balsas, en particular la zona oriente, se encuentra limitada al sur por la Sierra Madre del Sur, cuyo origen es Laramidense, es decir, finales del Mesozoico y principios del Cenozoico. Sin embargo, el levantamiento del Eje Neovolcánico Transmexicano es el que termina de delimitar la Depresión aunque la orogénesis comienza desde el Oligoceno, pero en realidad, la actividad más intensa ocurre en Plioceno-Pleistoceno, pudiéndose decir entonces que el origen probable de la alta diversidad de especies en la Depresión del Balsas se sitúa en esta época. Así, el Eje Neovolcánico traería como consecuencia la formación de una península interna con condiciones particulares, por otra parte los escurrimientos de agua que pudieran haber venido del Altiplano se verían interrumpidos. De esta manera, el Eje constituiría una barrera a los Nortes y en general, a los avances de las masas de aire frío, lo cual debe ser particularmente importante en las épocas de clima más fresco que debe haber prevalecido en México durante las glaciaciones (Kohlmann y Sánchez, 1984 y Rzedowski y Kruse, 1979).

Toledo-Manzur en 1982, indica que durante los procesos de cambios climáticos inducidos por las glaciaciones del Pleistoceno, es factible pensar que se produjeron corrimientos altitudinales en el área de distribución de las poblaciones de *Bursera*, y que al ocurrir la contracciones, ciertas poblaciones se quedaron atrapadas produciéndose aislamiento y diferenciación de especies, tal es el caso de *Bursera linanoe* que sólo se distribuye en la parte Oriental de la Depresión del Balsas y que se encuentra cercanamente emparentada con *B. glabrifolia*, *B. heteresthes* y *B. copallifera*, distribuidas en las partes altas de la Depresión. En el Caso del Valle de Tehuacán Cuicatlán, Toledo-Manzur (1982) hace referencia a que son regiones que coinciden con áreas de endemismos y en donde quedan poblaciones que prosperan en altitudes inferiores a los 1400 m. Lo que hace pensar que dichas especies desciendan de un antecesor común (Rzedowski y Kruse, 1979, Toledo-Manzur, 1982 y Kohlmann y Sánchez, 1984).

La representación geográfica del nicho ecológico y del dominio climático actual de *Bursera linanoe*, depende de que tan completo es el muestreo de la especie (Navarro et al 2003). En este caso seleccionamos la cobertura de cuencas de México (CONABIO, 1999), en virtud de que representan una regionalización natural a buena escala de rasgos geográficos e históricos, es decir, los parteaguas de las cuencas constituyen barreras geográficas naturales. Se parte de los datos de colecta para seleccionar las zonas de presencia de la especie, las cuales sirven para hacer un tamizado del modelo de distribución predicha de acuerdo con los parámetros ecológico (Peterson *et al*, 2001) (Fig.22 a y b)

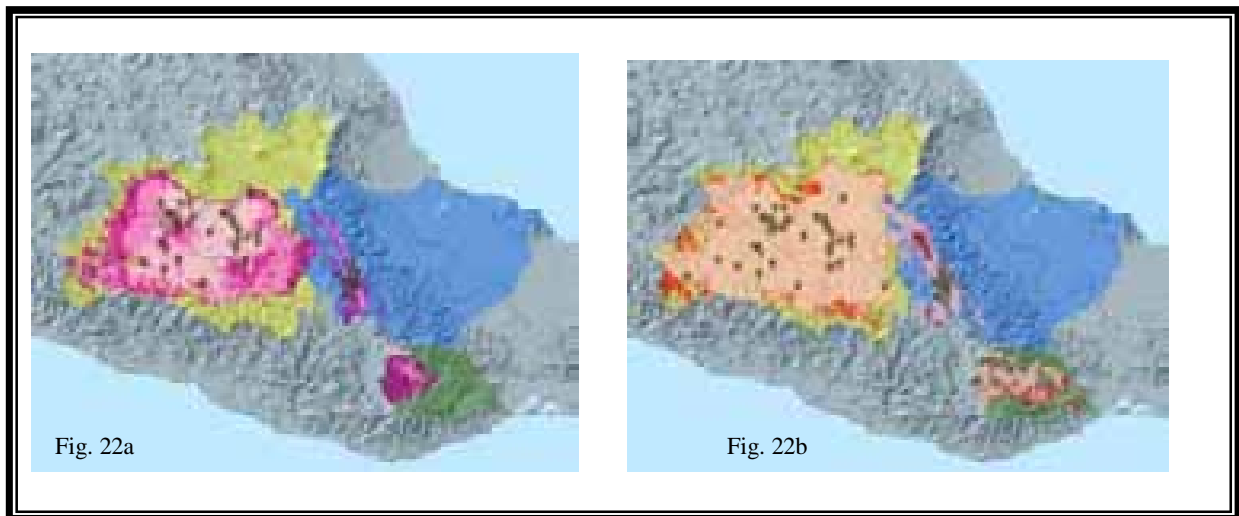


Fig. 22. Distribución geográfica real, con base en los registros históricos y actuales para *Bursera linanoe*, en zonas de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca, a su vez se observan las Cuencas en las que ha sido observada; a) distribución editada del modelo BIOCLIM con base a los registros. ; b) distribución editada del modelo GARP con base a los registros.



En general el modelo BIOCLIM da una idea clara de la situación actual de la distribución geográfica para *Bursera linanoe*. Así observamos, que es una especie de distribución relativamente amplia ya que se localiza en tres regiones del país; la región Oriente de la Depresión del Balsas, parte alta del Papaloapan en el área del Valle de Tehuacan Cuicatlán y una pequeña porción del Río Tehuantepec. En la Fig. 23 observamos el área de distribución esta limitada hacia el norte por el Eje Neovolcánico Transmexicano. Hacia el suroeste, el área se limita por la Sierra Madre del Sur dejándola solo en la depresión Oriente del Balsas, y hacia el sureste de México queda limitada por las Sierras Septentrionales de Oaxaca, quedando atrapada en una pequeña porción del Valle de Tehuacan-Cuicatlán entre Oaxaca y Puebla (Fig. 23)

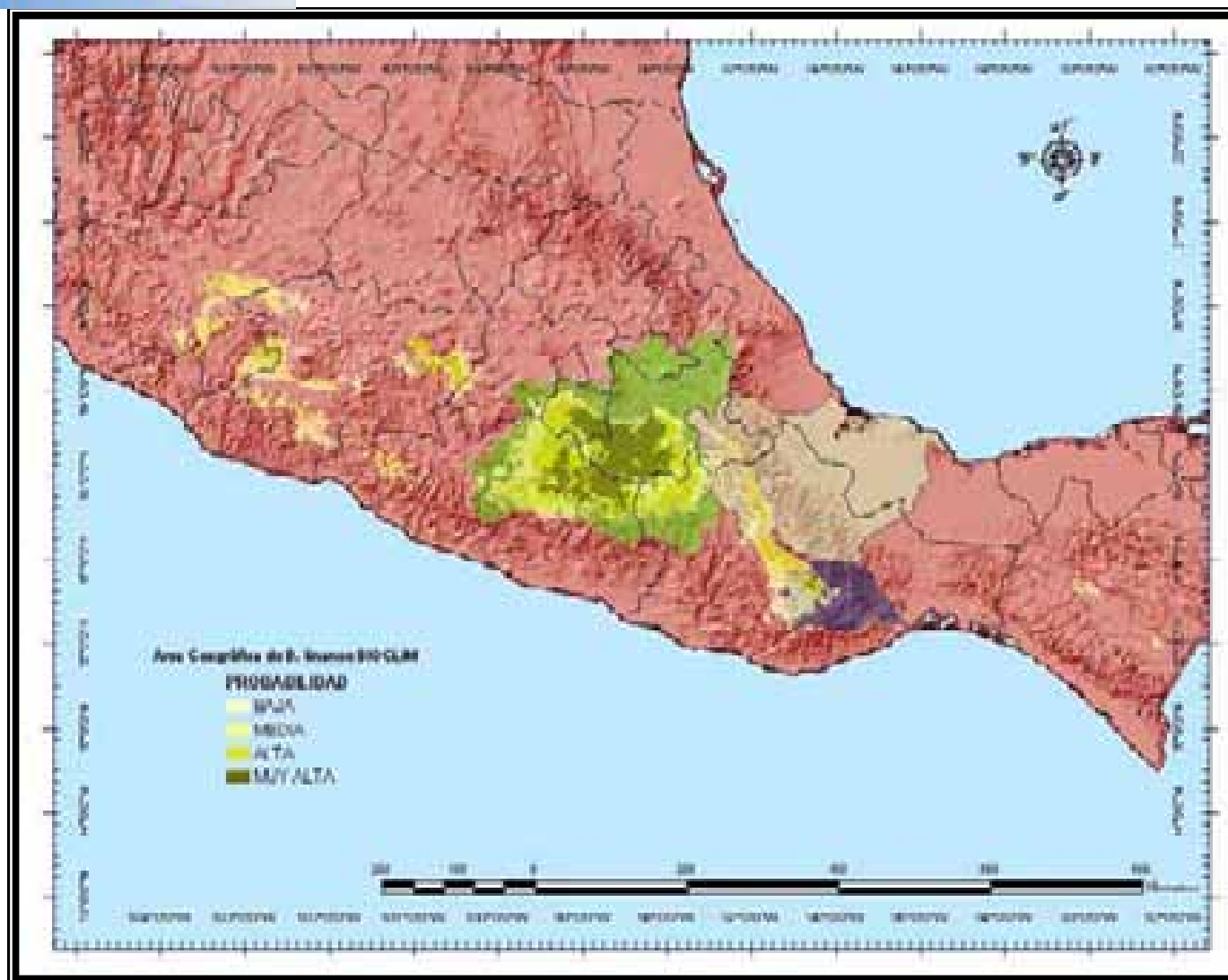


Fig. 16. Modelado de distribución potencial óptimo para *Bursera. linanoe* generado por el programa BIOCLIM

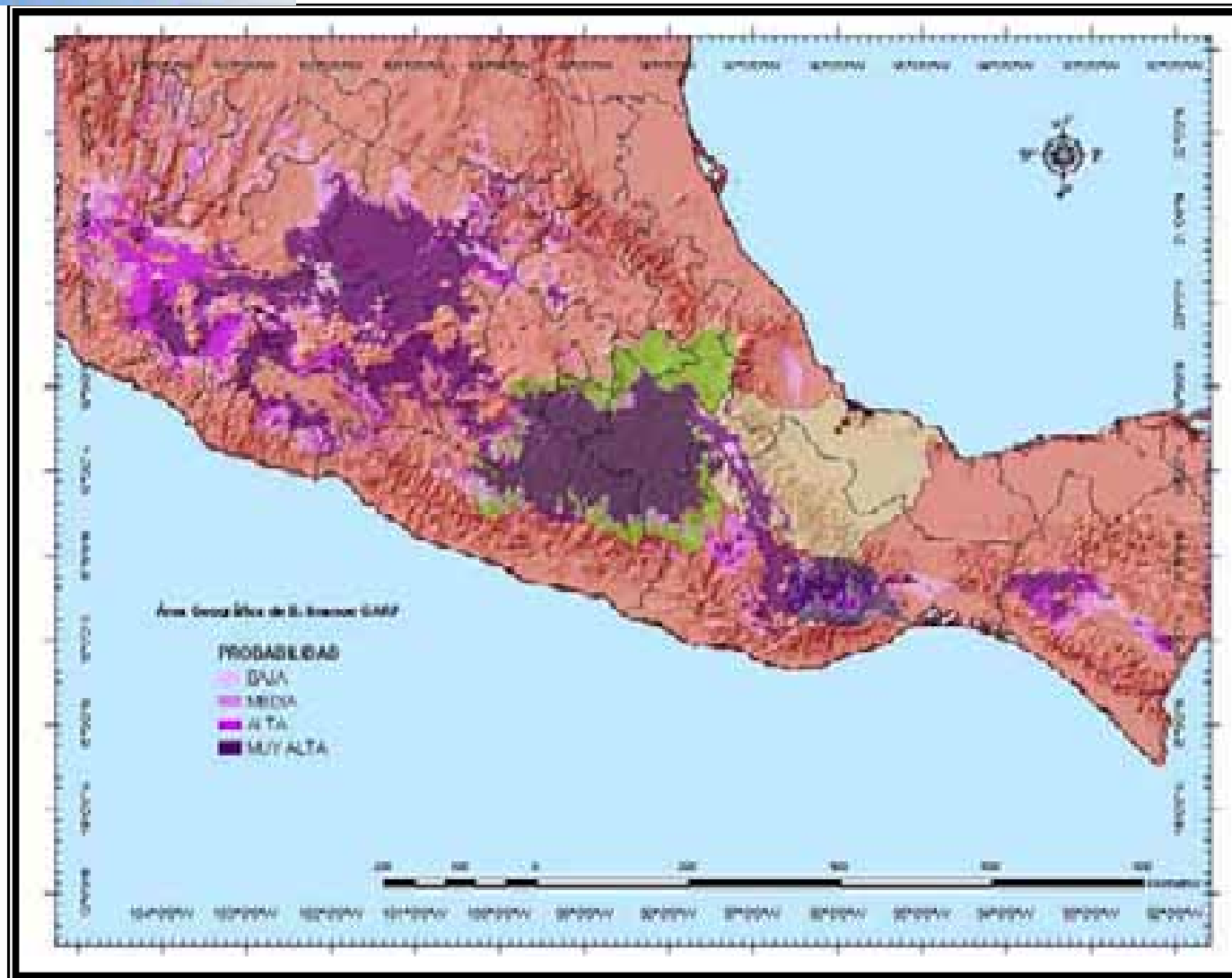


Figura 17. Modelado de distribución potencial óptimo para *B. linanoe* generado por el programa GARP



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS

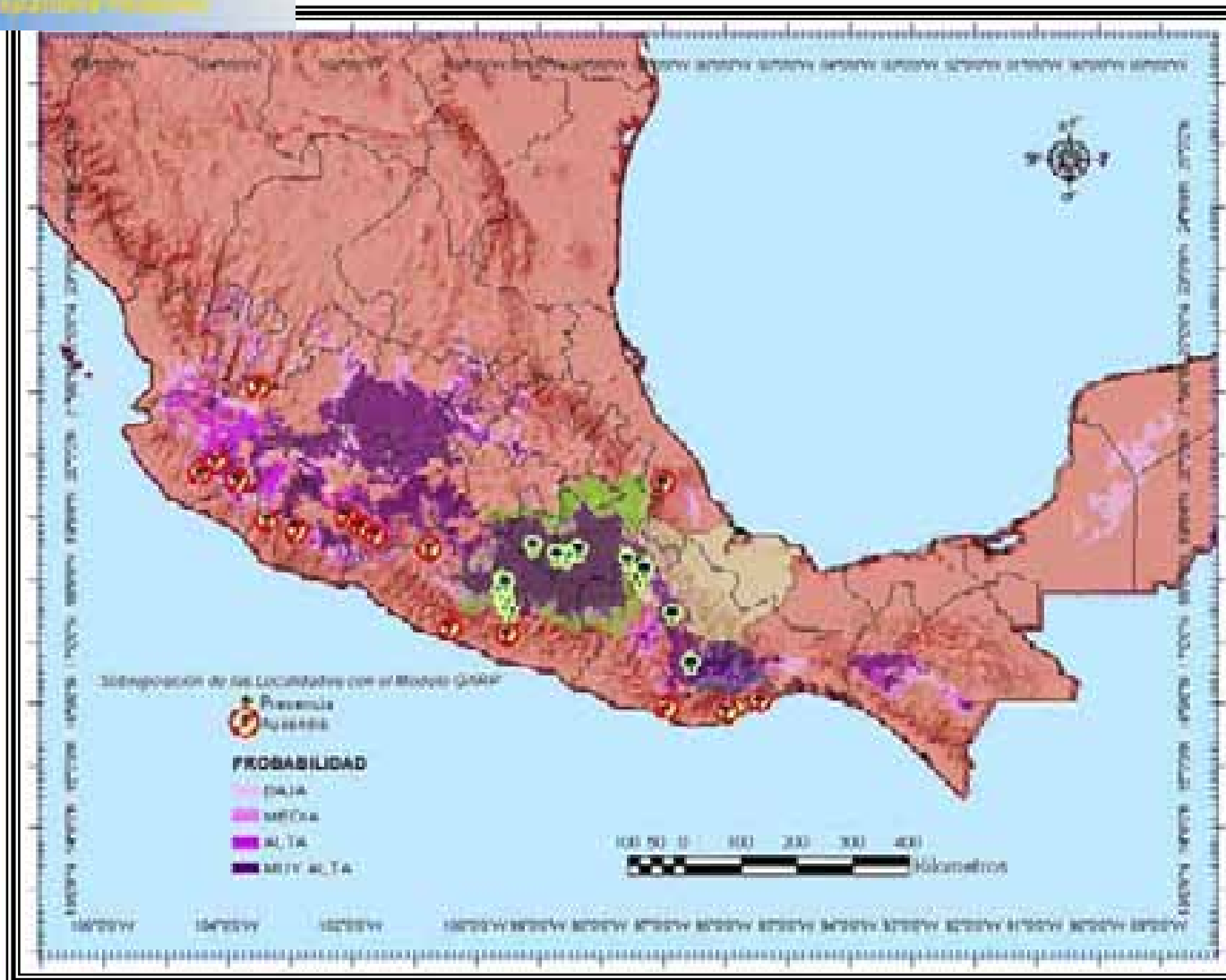


Fig. 18. Datos puntuales que se utilizaron para evaluar el modelo GARP. Se muestran los datos que caen dentro y fuera del modelo predictivo, los cuales se utilizaron para obtener el error de Omisión y Comisión.



Figura 19. Datos puntuales que se utilizaron para evaluar el modelo BIOCLIM. Se muestran los datos que caen dentro y fuera del modelo predictivo, utilizados para obtener el error de Omisión y Comisión.



RESULTADOS



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



PDF Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



RESULTADOS



PDF Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS



PDF Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanding Features](#)

RESULTADOS

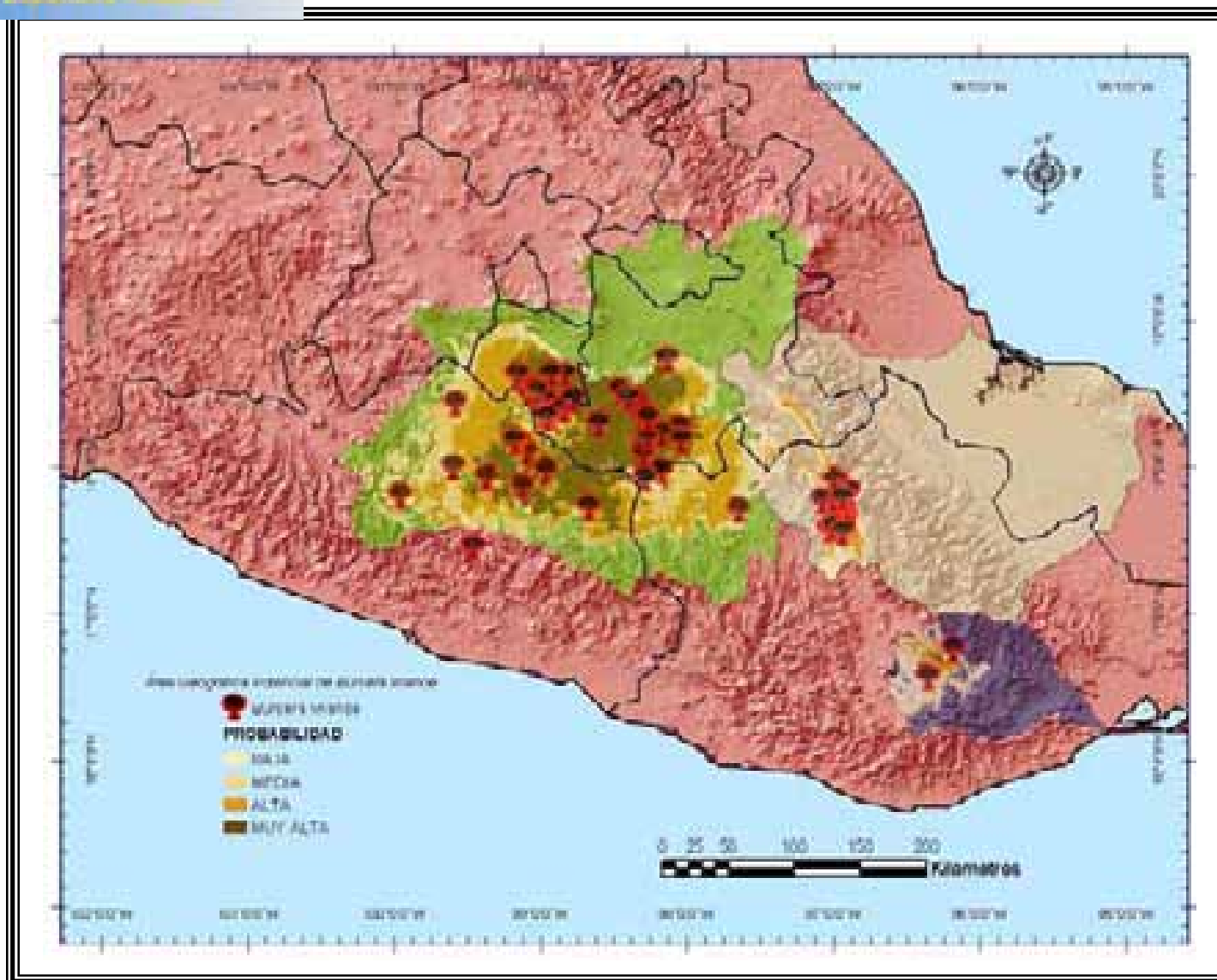


Figura 23. Área de distribución limitada de *Bursera linanoe*.





CONCLUSIONES

DISTRIBUCIÓN ECOLÓGICA.

La distribución geográfica de *Bursera linanoe* está relacionada estrechamente con el tipo de vegetación en el que habita, pues está presente solo en las selvas tropicales caducifolias de la parte oriental de la Depresión del Balsas, así como en la parte alta de la cuenca del Papaloapan y de Tehuantepec. La especie es estenotópica en relación con la vegetación, el suelo y el clima. La especie se encuentra comúnmente en suelos con un horizonte cálcico, el cual limita la distribución de la especie. En relación con la altitud, el linaloe tiene una mayor amplitud en su distribución pues la podemos encontrar desde los 600 msnm hasta los 1500 msnm, aunque la mayor cantidad de sus localidades se concentran alrededor de los 1000 metros, de esta manera la especie se considera que es euritópica. Es en esas altitudes donde se establece un intervalo de temperaturas de tipo cálido a muy cálido, entre 24 a 28 °C. Esto significa que la especie tiene poca tolerancia a las temperaturas bajas (estenotérmica). En cuanto a la humedad y la precipitación ocurre lo mismo; el linaloe se distribuye en el límite entre los climas semiáridos (BS1) y los subhúmedos (w0) sometida en ocasiones a estrés hídrico (estenohídrica). Esta condición predomina en la parte oriental de la depresión del Balsas y en el valle de Tehuacan Cuicatlan. Siguiendo la definición que da Espinosa *et al* (2005) de distribución ecológica, *Bursera linanoe* es una especie estenoeca, es decir, presenta una baja tolerancia ecológica. Por lo tanto, existe la posibilidad de que exista una continuidad en la distribución de tales condiciones ambientales a lo largo de su distribución geográfica.



DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.

El modelado del nicho ecológico y del dominio climático resultaron ser buenos para obtener áreas de distribución geográfica, así como la utilización de coberturas digitales y datos puntuales de la especie. Sin embargo el modelo creado por GARP (nicho ecológico), a partir de los datos obtenidos de colección de herbarios y de campo para *Bursera linanoe*, probó ser un modelo no muy confiable para hacer una adecuada representación de la distribución espacial actual. Así, el GARP exhibe un alto grado de sobre predicción, por lo que resulta improbable que podamos encontrar a la especie en zonas hacia el noroeste del país. Esto se puede atribuir a la alta restricción ecológica de la especie. El GARP muestra un buen funcionamiento con especies móviles y de baja restricción ecológica, pero no con especies altamente adaptadas al medio. Otra posible causa, es la calidad de los datos geográficos, ya que la escala geográfica de las coberturas depende de su resolución espacial, la cual puede presentar sesgos geográficos. La calidad de la georreferencia de los datos de recolecta repercuten directamente en la modelación del nicho ecológico, el cual puede tener una mejor representación en la medida que se consideren mas dimensiones ecológicas.

Sin embargo modelar el área de distribución con BIOCLIM (dominio climático) resultó ser mas adecuado para *B. linanoe*, pues demostró adecuarse mas a la información con la que se contaba, dibujó un área mas cercana a la realidad sin exagerar su dominio. El BIOCLIM presentó una menor sobrepredicción, lo que explica mejor el modelado de la distribución de organismos sésiles o de poca movilidad y con una alta restricción climática, por lo que se concluye que se pueden obtener mejores resultados en el modelado del área distribución potencial utilizando el dominio climático.



El área de distribución para *B. linanoe* se determinó para los estados de Morelos, Puebla, Guerrero y Oaxaca, por lo que su historia evolutiva debe estar relacionada con la evolución paleoclimática y morfotectónica de la cuenca oriental del río Balsas y la Cuenca alta del río Papaloapan. La historia de estas áreas está relacionada estrechamente con la evolución geológica de la faja volcánica transmexicana, la cual provocó tanto el aislamiento de estas áreas como su diferenciación climática, confinando a la especie en una zona cálida seca. En suma, los límites naturales de la distribución de *B. linanoe* son la Sierra de Taxco, que divide a la cuenca del río Balsas en una porción oriental (Alto Balsas) de una occidental; la faja volcánica transmexicana y la Sierra Madre del Sur limitan la distribución del linaleo al norte y al sur, respectivamente. Al este, la especie se sale de la cuenca del río Balsas, por la Sierra Mixteca, y alcanza el Valle de Tehuacan ó Cuicatlán, el cual está confinado por la Sierra Madre de Sur y las sierras del norte de Oaxaca y de Veracruz (Sierras de Juárez y Zongolica).



Literatura citada.

1. Anderson, R. P., D. Lew y A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
2. Arita, H. y P. Rodríguez. 2002. Ecología Geográfica y Macroecología. in: J. Llorente-Bousquets y J. J. Morrone (eds.). *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F.
3. Andrés-Hernández A. R., 2001, Análisis y descripción de estructuras foliares de especies del género *Bursera* Jacq. Ex L. que se distribuye en la cuenca del río Balsas, México Tesis de Maestría en Ciencias Facultad de Ciencias, UNAM, México D. F. 86
4. Andrés-Hernández A. R. y D. Espinosa-Organista 2002, Morfología de Plántulas de *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae) y sus Implicaciones Filogenéticas, Boletín Sociedad Botánica, 70: pag, México.
5. Austin, M. P. 1998. An ecological perspective on biodiversity investigations: examples from Australian eucalypts forests. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 85: 2-17.
6. Becerra J y L. Venable. 1999. Nuclear ribosomal DNA phylogeny and its implications for evolutionary trends in Mexican *Bursera* (Burseraceae) *American Journal of Botany* 86: 1047 ó 1057.
7. Becerra J. 2003. Evolution of Mexican *Bursera* (Burseraceae) inferred from ITS, ETS and 5S nuclear ribosomal DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 26: 300 ó 309.
8. BIOCLIM 3.18 - Generate bioclimatic parameters or profile.
9. Bosque S. J 2000. *Sistemas de Información Geográfica*. 2da Edición, Ediciones Rialp S. A. Madrid



10. Carpenter, G.; A. N. Gillison y J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potencial distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667 ó 680.
11. CONABIO. 1998. La Diversidad Biológica de México Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
12. CONABIO, 1998. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Subcuencas Hidrológicas, extraído de Boletín hidrológico 1970 Subcuencas hidrológicas 1: 1 000 000 Secretaría de Recursos Hidráulicos
13. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) 2003. Sistema de Información Biótica 4.1 CONABIO, México, D. F.
14. Daly D., 1993, Notes on *Bursera* in South America, including a new species. *Studies in Neotropical Burseraceae VII. Brittonia*, 45: 240-246.
15. Dirzo R. 1990. La Biodiversidad Como Crisis Ecológica Actual: ¿Qué Sabemos?. en: *Ecología y Conservación en México* (Soberon J. Ed.). Revista especial, *Ciencias* 4: 48-55 UNAM, México. D. F.
16. Doelker 1957. Obtención del Aceite Esencial de Lináloe. Tesis de Licenciatura de Química. Escuela Nacional de Ciencias Químicas; UNAM, México.
17. Espinosa O. D., J. J. Morrone, J. Llorente y O. Flores, 2005. Introducción al análisis de patrones en Biogeografía histórica. Las prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
18. ESRI (Environmental Scientific Research Institute) 2000. *ArcView 3.2*. ESRI, Redlands, California.
19. Feria, A. T. P. 2001. Patrones de distribución de las aves residentes de la cuenca del Balsas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
20. Fischer, J., D. B. Lindenmayer, H. A. Nix, J. L. Stein y J. A. Stein. 2001. Climate and animal distribution: a climatic analysis of the Australian marsupial *Trichosurus caninus*. *Journal of Biogeography* 28: 293-304.



21. Gaston, K. J. 1994. Measuring geographic range sizes. *Ecography* 17:198-205.
22. García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, 5ta Edición, Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.
23. García E. y CONABIO, 1990. Climas 1: 4000 000, Atlas Nacional de México.
24. García E. y CONABIO, 1998. Precipitación Total Anual Escala 1:1 000 000 México.
25. García E. y CONABIO, 1998 Isotermas Medias Anuales 1:1 000 000 México.
26. Hernández F., 1577. Historia de las plantas de Nueva España, Tomo 1. Publicada en 1942 de la versión española de Ximénez. Instituto de Biología, Prensa Universitaria. UNAM México D. F.
27. Holland, J. H. 1975. Adaptation in natural and artificial systems, *Ann Arbor, Mi.* The University of Michigan Press.
28. Hutchinson, G. E. y R. H. MacArthur. 1959. A theoretical ecological model of size distribution among species of animals. *American Naturalist*. 93:117-125
29. INEGI, 2000. Modificado de Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI (1973) Uso de Suelo y Vegetación 1:250 000
30. INEGI y Instituto de Geografía UNAM, 1990. Hipsometría y Batimetría 1: 4000 000, Atlas Nacional de México, México.
31. INIFAP y CONABIO, 1995. Mapa Edafológico 1:250 000, México.
32. Kohlmann, B. y S. Sanchez. 1984. Estudio aerografico del genero *Bursera* Jacq ex L. (Burseraceae) en México. Una síntesis de métodos. en: Métodos cuantitativos en la biogeografía, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz. Vol. Pág.
33. Krebs C. J. 1978. Ecología: Estudio de la Distribución y Abundancia. 2da Edición, Harla. México. D. F.
34. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988; Texto vigente, ultima reforma publicada DOF 05-07-2007.



35. Lindenmayer, D. B., H. A. Nix, J. P. McMahon, M. F. Hutchinson y M. T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum, *Gymnobelideus leadbeateri* (McCoy): a case study of the use of bioclimatic modeling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.
36. McArthur, R. H. 1972. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Harper and Row, New York.
37. McVaugh R. y J. Rzedowski. 1965. Synopsis of the genus *Bursera* in Western México, with notes on the material of *Bursera* Collected by Sesse and Mociño, *Kew Bulletin*. 18: 317-382.
38. Miranda, F. y E. Hernández X. 1963, Los tipos de Vegetación en México y su Clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28: 29-179.
39. Mittermeier R. A. y Goettsh 1992. La Importancia de la Biodiversidad Biológica en México. en: México ante los retos de la Biodiversidad C. J. Sarukhán y R. Dirzo (comps.). CONABIO, México. D. F.
40. Navarro A. G., A. T. Peterson, Y. J. Nakazawa U y I. Liebig-Fossas. 2003. Colecciones biológicas, modelaje de nichos ecológicos y los estudios de la biodiversidad. En J. J. Morrone y J. Llorente B. (eds.). *Una perspectiva Latinoamericana de la biogeografía*. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México. D. F. 115-121
41. Nix, H. A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. En: Atlas of elapid snakes of Australia. R. Longmore (ed.) Australia Government Publishing Service.
42. Odum E. P. 1985, *Ecología*, 3ra Edición, Editorial Interamericana, México, D. F.
43. Peterson A. T., D. R. B. Stockwell y D. A. Kluza, 2001. Distributional prediction based on ecological niche modeling of primary occurrence data. *Predicting Species Occurrence: Issues of Scale and Accuracy*. D. C.; Washintong Island Press. Forthcoming



44. Rojas, P C. A. 2005. Automatización del método de la panbiogeografía: identificación de centros de diversidad del parque Nacional Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Zoquiapan y anexas. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
45. Rzedowski J., R. L. Medina y G. Calderón, 2005. Inventario del conocimiento taxonómico de la diversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burceraceae).
46. Rzedowski J. 2004. Copales y Cuajiotos. en: García Mendoza, M. J. Ordóñez y M Briones (Eds.). Biodiversidad de Oaxaca Instituto de Biología, UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fundation. México pp. 193-198.
47. Rzedowski, J. y H, Kruse, 1979. Algunas tendencias evolutivas en *Bursera* (Burseraceae) *Taxon*. 28 (1,2/3): 103.116.
48. Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D. F.
49. Sánchez-Cordero, V. y E. Martínez-Meyer. 2000. Museum specimen data predict crop damage by tropical rodents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 97:7074-7077.
50. Scott, J. M. y B. Csuti. 1997. Gap analysis for biodiversity survey and maintenance. In: M. L. Reaka-Kudla, D. E. Wilson y E. O. Wilson (eds.) *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources*. Joseph Henry, Washington, D. C., pp. 321-340.
51. Stockman A. K., A. D. Beamer y J. E Bond, 2006. An evaluation of GARP model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species. *Diversity and Distributions, Biodiversity Research*. 12: 81-89
52. Stockwell, D. R. B. 1999. Genetic algorithms II: species distribution modelling. en: A. H. Fielding (ed.). *Machine learning methods for ecological applications*. Kluwer Academic Publishers. Massachussets. 124-144.



53. Téllez V., O. y P. Dávila A. 2003. Protected areas and climatic change: a case study of the cacti in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Conservation Biology* 17: 846-853.
54. Toledo-Manzur. C. A. 1982. El género *Bursera* (Burseraceae) en Guerrero (México). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México. D. F.
55. Torrico, P. F. A. 1991. Caracterización de la flora aprovechable en la región de Ochapa, Municipio de Tecoapan, Estado de Guerrero. UAM-Xochimilco. México D. F.
56. Villaseñor, J. L y O. Téllez-Valdez. 2004. Distribución potencial de las especies del genero *Jefea* (Astereceae) en México. *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75: 205-220.
57. Weeks, A., D.C. Daly, y B.B. Simpson, 2005. The phylogenetic history and biogeography of frankincense and myrrh family (Burseraceae) based on nuclear and chloroplast sequence data. *Mol Phyl. Evol.* 35: 85-101.
58. Whittaker, R.H. 1975. *Communities and ecosystems*. Macmillan. New York:
59. Wiley E. O., K. M. McNyset, A. T. Peterson, C. R. Robison y A. M. Stewart, 2003. Niche Modelig and Geographic Range Predictions in the Marine Environment Using a Machine-learning Algorithm, Kansas USA, *Oceanography*. 16 : 120-127
60. Zunino, M. y A. Zullini. 2003. *Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica, México. D. F.