

00377



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

Instituto de Biología

**DISTRIBUCIÓN Y CONSERVACIÓN DE  
ESPECIES ARBÓREAS ENDÉMICAS DE  
LEGUMINOSAE EN MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

**GABRIELA SÁNCHEZ CASTRO**

DIRECTOR DE TESIS: DR. HANS MARTIN RICKER REYMANN

MÉXICO, D. F.



JUNIO, 2005

m. 345658



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.



# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Gabriela Sánchez Castro

FECHA: 16-06-05

FIRMA: Juan José Morrone Lupi


Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 21 de junio del 2004, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) del(a) alumno(a) **Sánchez Castro Gabriela** con número de cuenta **91335166** con la tesis titulada: **"Distribución y conservación de especies arbóreas endémicas de Leguminosae en México"**, bajo la dirección del(a) Dr. **Martín Ricker Reymann**.

- Presidente: Dr. José Luis Palacio Prieto
- Vocal: Dr. Guillermo Ibarra Manríquez
- Secretario: Dr. Hans Martín Ricker Reymann
- Suplente: M. en C. Mario Sousa Sánchez
- Suplente: Dr. Héctor M. Hernández Macías

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F. a, 10 de junio del 2005

  
Dr. Juan José Morrone Lupi  
Coordinador del Programa

## RECONOCIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado durante la estancia en el Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través de la beca No. 163231.

A los miembros del comité tutorial: Mtro. Mario Sousa Sánchez, Dr. Martin Ricker Reymann y Dr. José Luis Palacio Prieto por asistir a cada reunión semestral y por sus valiosos comentarios y buenas aportaciones. Gracias también por revisar y criticar constructivamente el escrito de tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional: por acogerme como un miembro más de su comunidad.

A Martin Ricker: por brindarme apoyo y amistad durante una buena parte de mi vida académica.

Al los doctores Guillermo Ibarra, Mario Sousa y Héctor Hernández y José Luis Palacio: por el tiempo que dedicaron a la revisión del escrito de tesis. Cada comentario hecho a mi trabajo fue usado para mejorar el resultado final.

A mi profesor Enrique Ortiz: por su ayuda y guía en mis primeras incursiones con plantas vasculares y fitogeografía.

A los HH miembros de la Biblioteca del IBUNAM (Miguel, Andrés y Gume). Su trabajo es fundamental para los estudiantes del IB.

A Gabriela Gómez, Alma Luz Cabrera y Celia López del Instituto de Geografía de la U.N.A.M. por la ayuda brindada en el diseño de mapas y obtención de información útil del IFN 2000.

A Rocío (secretaria del posgrado), por hacer de los trámites una experiencia grata.

Un agradecimiento muy especial a mis compañeros del IB: Lydia, Julieta y Mark, Monse, Genaro, Carlitos Gómez, Mari Tere y Reina, Rosa Linda y Leonardo, Cesar y Griselda, Ivalú y Fach, Rocío, Gonzalo, Feli, Victor, Guadalupe, Yolanda, Luz Aliette ....por su compañía, amistad y la amena cámbula académica de todos los días.

Finalmente, a la DPSS de ASERCA por el apoyo en la terminación del trabajo.

## **DEDICATORIA**

A todas las cosas que son importantes en mi vida:

La compañía y el amor de Israel, mi esposo.

El cariño y apoyo de mis padres y hermanos: Amalia y Álvaro, Gerardo, Rafael, y Cecilia.

El tiempo con mis sobrinos (mi orgullo y fortaleza): Luis Fernando, Santiago, Daniel, Ximena, Marco Antonio, y el que pronto nacerá

Los buenos ratos y las largas pláticas con mis amigos del alma: Pili, Claudia, Esther, Julieta y Mark, Lydia y Jorge, Charlie, Elizabeth, Luis...

## CONTENIDO

<b>Resumen (Abstract)</b> .....	5
<b>Introducción</b> .....	6
<b>Objetivos</b> .....	10
<b>Métodos</b> .....	11
<b>Resultados</b>	
Generación de mapas de distribución .....	16
Área de distribución y patrones de riqueza .....	20
Análisis de vegetación.....	27
Determinación de áreas de conservación mediante el método de optimización lineal.....	30
<b>Discusión</b> .....	36
<b>Bibliografía</b> .....	39
<b>Apéndice I: mapas de distribución</b> .....	43
<b>Apéndice II: problema de optimización</b> .....	65

## RESUMEN

En el Herbario Nacional de México (MEXU) se revisaron 2,014 ejemplares de 41 especies de árboles endémicos a México ( $\geq 8$  m de altura), pertenecientes a dos subfamilias de Leguminosae (Caesalpinioideae y Mimosoideae), con el objetivo de obtener datos sobre la ubicación de los sitios donde fueron colectados los ejemplares. Después de verificar su identidad taxonómica, se obtuvieron las coordenadas geográficas de 1,847 localidades de colecta para generar mapas de distribución. Los patrones de distribución mostraron que buena parte de estas especies (69 %) se encuentran distribuidas a lo largo de la vertiente del Pacífico de México, desde el extremo NE del estado de Sinaloa hasta la parte SO de Chiapas. La Depresión del Balsas y Eje Volcánico Transversal mostraron ser otras dos regiones de importancia para estas especies. Al subdividir México en cuadros geográficos de  $1^\circ$  por  $1^\circ$ , se observó que las 41 especies se distribuyeron en 129 cuadros, el equivalente al 53% de un total de 242 en los que fue dividido el país. Los tipos de vegetación: *selva baja y mediana caducifolia* y *subcaducifolia*, *selva alta y mediana perennifolia* y *subperennifolia*, y el *matorral xerófilo* son los más representativos para las 41 especies. Los dos primeros tipos de vegetación se encuentran fuertemente amenazados en nuestro país. Usando el método de optimización lineal para conservar a las 41 especies, considerando (aproximadamente) 1,000 km<sup>2</sup> de la cobertura vegetal absoluta presente en un cuadro de un grado por lado según el Inventario Forestal Nacional 2000, 17 cuadros forman parte de la solución óptima. El área que cubre este sistema de 17 áreas potenciales para conservación, corresponde al 1 % de la superficie continental de México.

## ABSTRACT

Locality data were captured from 2,014 specimens of 41 Mexican endemic Caesalpinioideae and Mimosoideae (Leguminosae) tree species of at least 8 m of height from the National Herbarium of Mexico (MEXU). After confirming the taxonomic identification of each specimen, the geographical coordinates of 1,847 localities were used to generate distribution maps. The distribution pattern reveals that 69 % of these species are distributed along of the Pacific coast of Mexico, from NE Sinaloa to SW Chiapas. The Balsas Depression and Mexican Volcanic Belt were also important for these species. The 41 species studied are distributed in 129 squares ( $1^\circ$  by  $1^\circ$ ), which are equivalent to 53% of the 242 squares that comprises the country. Tropical dry forest, tropical subdeciduous forest, various types of moist forest and xerophytic scrub are the vegetation types mainly associated with the 41 species. The first two ecosystems are under strong threat in Mexico. Using the method of linear optimization to select the minimum number of grid squares required to preserve all 41 species, 17 squares are part of the ideal solution. Considering ca 1,000 km<sup>2</sup> of the plant coverage is present in a square of a degree per side, according to the Forest National Inventory 2000, the area that covers this system of 17 potential areas for conservation corresponds to 0.1 % of the continental land area of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Por razones de tipo geográfico y topográfico, México se encuentra dotado de múltiples paisajes y ecosistemas naturales que albergan a una gran variedad de especies de animales y plantas. De hecho, el país es considerado como el cuarto en importancia en aspectos de biodiversidad del planeta después de Brasil, Colombia e Indonesia (Cantú *et al.* 2004). Particularmente, México es muy importante desde el punto de vista florístico porque asila al menos 20,000 especies de angiospermas, de las cuales cerca del 50% restringe su distribución a nuestro país (Rzedowski 1991, Villaseñor 2003).

Sin embargo, los ecosistemas naturales de México (como muchas otras regiones en el mundo) han sufrido procesos de deterioro intensos, provocados en buena parte por un desarrollo mal planificado. Un ejemplo de lo anterior es la pérdida en 10 años del 36% de la cobertura forestal natural, debido principalmente a procesos de deforestación causados por el crecimiento de la frontera agrícola y ganadera (Ricker *et al.*, en preparación).

Bajo esta premisa, las áreas naturales protegidas (ANP) fueron concebidas como los principales instrumentos administrativos en la conservación de la biodiversidad. De acuerdo con Margules y Pressey (2000), el papel fundamental de las reservas naturales es proteger a la biodiversidad de procesos que amenazan su existencia. Para ello, una reserva natural debe cumplir con dos características fundamentales: representatividad y persistencia. La representatividad busca la inclusión del mayor número (posible) de atributos esenciales (elementos de la biodiversidad), dentro de una muestra (Vane- Wright 1996), mientras que la persistencia implica la procuración de la perpetuidad de dichos elementos a través del tiempo (Margules y Pressey 2000).

Sin embargo, muchas áreas de protección se han establecido sin tomar en cuenta lo anteriormente mencionado (Williams *et al.* 2002, Margules y Pressey 2000), debido principalmente a la carencia de información suficiente respecto al estado de los recursos naturales mundiales y locales. Un ejemplo ocurre en México, que cuenta en la actualidad con 144 reservas naturales (aproximadamente el 9.1 % de la superficie total del país), en su gran mayoría instituidas sin considerar su importancia en el resguardo de la riqueza natural y ponderando aspectos menos estrictos como los atributos paisajístico-escénicos de un sitio (Cantú *et al.* 2004, Melo-Gallegos 2002).

En este sentido, un plan sistemático de conservación de la naturaleza ofrece la oportunidad de llevar a cabo acciones objetivas en la detección, diseño y consolidación de un sistema de reservas naturales eficaces, (Margules y Pressey 2000, Groves *et al.* 2002, Williams 2002). Un plan sistemático de conservación debe tomar en cuenta los siguientes aspectos: a) identificación de prioridades y asignación de objetivos específicos; b) obtención de información científica relevante sobre las entidades a proteger; c) elaboración de estrategias metodológicas de localización de áreas con importancia para la conservación; d) evaluación y reconocimiento del papel que juegan las áreas ya establecidas en el cumplimiento de los objetivos específicos; e) adoptar



mecanismos explícitos para el mantenimiento de las condiciones necesarias que garanticen la persistencia de los atributos a conservar (Margules y Pressey 2000, Groves *et al.* 2002).

En México se ha llevado a cabo un esfuerzo por documentar, con mayor exactitud, la riqueza biológica y ecológica de nuestro país: destaca por su capacidad de alcance el llevado a cabo por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), dedicada principalmente a conformar, mantener y actualizar el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Este conocimiento, complementado con la incorporación de metodologías derivadas principalmente de la biogeografía, ha servido como elemento de juicio para orientar decisiones privadas y públicas en materia de conservación. Sin embargo, aún existe desconocimiento sobre muchos aspectos importantes relacionados con la biodiversidad mexicana (Villaseñor *et al.* 2003).

El presente trabajo busca contribuir en este aspecto, al determinar la distribución geográfica de 41 especies endémicas de árboles pertenecientes a una de las familias de angiospermas más representativas de México: Leguminosae. Al mismo tiempo y con ayuda de los datos geográficos, se propone el uso del método de optimización lineal, para encontrar un sistema de áreas mínimas que permita la conservación de las especies de árboles y su hábitat. También, se discute sobre el papel que desempeñan las áreas naturales protegidas ya establecidas en México en la conservación de las especies en estudio.

### **Las especies de árboles endémicos de Leguminosae como indicadores.**

En Biología de la conservación, existen limitaciones logísticas inherentes en el estudio y conocimiento de la totalidad de elementos que conforman la biodiversidad (Groves *et al.* 2002); en este sentido, la identificación de prioridades ayuda a delimitar el universo de posibilidades a estudiar.

Aunque algunos autores han propuesto como objeto de estudio ecosistemas enteros y comunidades (di Castri *et al.* 1992, Gaston 1996, Caro y O'Doherty 1998, Margules y Pressey 2000, Williams *et al.* 2002, Groves *et al.* 2002 y Cantú *et al.* 2003), en conservación se opta por estudiar a las especies que, desde el punto de vista práctico, conceden ventajas importantes: es relativamente sencillo obtener información científica suficiente, consistente y certera sobre ellas (Groves *et al.* 2002, Williams *et al.* 2002), además de que son elementos representativos de las condiciones naturales a las que se encuentran asociadas y buenos indicadores de la diversidad genética de un sitio (Williams *et al.* 2002).

Caro y O'Doherty (1998) argumentan que las especies pueden servir para resaltar el grado de riqueza y endemismos de una región y su grado de vulnerabilidad (especies indicadoras), o simplemente para atraer la atención del público (especies bandera).

De todas las familias de angiospermas, Leguminosae cuenta con una gran riqueza, ocupando la tercera posición en importancia (después de las familias Orchidaceae y Compositae) con cerca de 18,000 especies en todo el mundo (Polhill *et al.* 1981). El carácter morfológico distintivo de este grupo de plantas es el fruto seco,

unicarpelar, en forma de legumbre, que presenta una sutura dorsal generalmente dehiscente a lo largo del mismo. Es en esta sutura donde se encuentran dispuestas las semillas (Polhill 1994). De acuerdo con Cronquist (1981), en ocasiones la sutura del fruto puede ser indehiscente y algunas veces alada. Éste autor menciona además que la presencia de estructuras nodulares en las raíces de las leguminosas, originadas por la presencia de hongos fijadores de nitrógeno, es otro más de los caracteres distintivos del grupo. Desde el punto de vista taxonómico, Leguminosae ha sido dividida en tres grandes subfamilias (Caesalpinioideae, Mimosoideae y Papilionoideae) y es considerado un grupo natural desde el punto de vista filogenético (McVaugh 1987, Polhill y Raven 1981). Las especies de la familia son comunes en las regiones tropicales de Asia, África, Centro y Sur de América y Australia. Muchas especies se encuentran generalmente en zonas de baja altitud, en sitios ocupados por selvas secas, matorrales y chaparrales, en lugares de selva húmeda y zonas de transición a bosques templados (Polhill y Raven 1981).

En nuestro país, es la segunda familia más importante después de Compositae con 1837 especies (aproximadamente) (Villaseñor 2003). El 43.2% son elementos de distribución restringida al país (Sousa y Delgado 1998), proporción que aumenta casi a un 75% si se considera a México una provincia florística más natural (Rzedowski 1998, Sousa y Delgado 1998).

Por otro lado, los árboles y arbustos son las formas de vida dominantes en muchos de los ecosistemas en el mundo, especialmente en los ubicados en las regiones tropicales y subtropicales (Sousa et al. 2001). La información que Standley (1920-26) dio a conocer sobre las especies de árboles y arbustos de México, señala que en el país existen cerca de 5,700 especies de árboles y arbustos y según Rzedowski (1991) estas dos formas de vida conforman el 79% del elemento endémico del país.

El reconocimiento, jerarquización y localización de elementos únicos (endémicos), son parámetros indicadores del grado de singularidad de una determinada flora o fauna (Rzedowski 1991). De éste modo, México es reconocido como un centro secundario de diversificación de la familia Leguminosae, después de Brasil, por el número tan considerable de especies endémicas con las que cuenta (Sousa y Delgado 1998).

Una revisión taxonómica reciente documentó la existencia de 623 especies de árboles y arbustos de la familia Leguminosae, de las cuales 283 especies o el equivalente al 46.2 % del total de especies para la familia son endémicas de México (Sousa et al. 2001, 2003).

### **Algunas notas sobre el modelo de Optimización lineal.**

Los modelos constituidos de algoritmos han sido ampliamente utilizados en la detección y diseño de redes de áreas para conservación (Dykstra 1984). Las metodologías que utilizan modelos de tipo iterativo basados en el principio de complementariedad (Vane Wright 1996) han sido las más usadas con este propósito (Ibarra-Manríquez 1996, Hernández y Bárcenas 1996, Freitag 1997, Margules y Pressey 2000, Williams *et al.*

2002, Groves *et al.* 2002, Villaseñor *et al.* 2003) y también las más criticadas por ofrecer soluciones que pueden resultar sub-óptimas (Memtsas *et al.* 2002; Rothley, 1999, Underhill 1993, Rodrigues y Gaston 2002).

La aplicación de la programación lineal en la resolución de problemas de optimización de áreas para conservación ha sido probada y recomendada por algunos autores (Dykstra 1984, Underhill 1993, Rodrigues y Gaston 2002, Ricker *et al.*, en preparación). El método de la optimización lineal, desarrollado por el matemático y economista norteamericano George B. Dantzing en 1947, fue inicialmente utilizado en la planeación de las actividades de la fuerza aérea norteamericana y, en la actualidad, el uso del modelo se ha extendido también al campo del manejo forestal (Dykstra 1984). Los modelos de optimización se han aplicado principalmente en la resolución de problemas donde se busca optimizar áreas que pueden ser utilizadas con fines de conservación. Por lo regular, se busca que dichas áreas sean de un tamaño mínimo necesario (5 o 10% del área total) para cumplir con el propósito de preservar los recursos naturales. En términos de costo y manejo, éste último punto resulta ser sumamente operativo.

Sin embargo, el uso de la técnica no es del todo popular y son pocos los trabajos que ofrecen ejemplos concretos de su aplicación.

Finalmente, un detalle importante a señalar sobre el uso de modelos matemáticos es que éstos no pueden ser considerados como un resultado de análisis concluyente, sino como una herramienta inicial que permitirá orientar decisiones hacia un fin determinado (Dykstra 1984).

## OBJETIVOS

### General.

Detectar áreas prioritarias de conservación para 41 especies de árboles endémicos de la familia Leguminosae (subfamilias: Caesalpinoideae, Mimosoideae), en México.

### Particulares.

- Delimitar las áreas de distribución de las especies a nivel nacional.
- Para este conjunto de organismos, detectar las áreas que destaquen por su riqueza específica.
- Determinar los tipos de vegetación donde se distribuyen estas especies.
- Determinar por medio del método de la optimización lineal, el área mínima necesaria para conservar a las 41 especies y su hábitat en nuestro país.
- Discutir el papel que desempeña el sistema actual de áreas naturales protegidas en México, en la protección de las especies incluidas en este estudio.

## MÉTODOS

De un listado integrado por 611 especies mexicanas de árboles y arbustos de la familia Leguminosae que llegan a medir al menos 3 m de altura (Sousa et al. 2001; actualizado y ampliado a 623 especies por los mismos autores en 2003), se hizo una selección de aquellas especies que se hubieren reportado como árboles endémicos con una altura máxima  $\geq$  a 8 m de altura. Bajo este criterio, se conformó una muestra de 104 especies en 40 géneros y 3 subfamilias.

Debido a limitaciones en el tiempo para realizar la revisión taxonómica de cada ejemplar y toma de datos del registro histórico, el trabajo se concentró en una muestra de 41 especies, pertenecientes a 18 géneros y dos subfamilias de Leguminosae: Caesalpinioideae y Mimosoideae.

En la Tabla 1 se muestran los nombres científicos de las 41 especies de árboles, el nombre de la subfamilia a la que pertenecen, y el nombre del taxónomo que revisó el material de herbario. Con la información proveniente de las etiquetas de cada ejemplar de herbario se elaboró una base de datos con la siguiente información: (1) número de colecta y colector, (2) fecha de la colecta, (3) descripción de la ubicación del sitio de colecta (en algunos casos se pudo obtener también las coordenadas geográficas), (4) forma de vida, (5) tipo de vegetación y (6) especies asociadas.

Posteriormente, se obtuvieron las coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) para los sitios de colecta que presentaron información precisa y clara sobre su ubicación en el país. Para obtener las coordenadas, se utilizó una versión de la base de datos CIGEL del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), adaptada por el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta base de datos contiene la información sobre la ubicación en coordenadas geográficas escala 1:50,000 de localidades del país. Complementariamente, se utilizaron mapas topográficos en formato digital a escala 1:250,000 para verificar la ubicación. Los datos en coordenadas geográficas fueron transformados a unidades métricas (grados decimales), para su posterior utilización en la elaboración de mapas de distribución para cada especie. Cada mapa fue diseñado con la ayuda del programa ARCVIEW ver 3.2. Los sitios de colecta se representaron como puntos sobre el mapa de la República Mexicana con proyección cónica conforme de Lambert. En mapas preliminares, fueron verificados y corregidos todos los puntos con coordenadas geográficas erróneas (p.e. árboles ubicados en el mar), antes de tener los mapas finales.

**Tabla 1.** Lista de las especies seleccionadas y nombre de los taxónomos revisores del material de herbario.

Subfamilia	Especies	Revisor	
Caesalpinioideae	<i>Caesalpinia hughesii</i> G.P. Lewis	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Caesalpinia macvaughii</i> J.L. Contr. & G.P. Lewis	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson	José Luis Contreras	
	<i>Caesalpinia sclerocarpa</i> Standl.	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Cassia hintoni</i> Sandwith	José Luis Contreras	
	<i>Conzattia chiapensis</i> Miranda	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Conzattia multiflora</i> (B.L. Rob.) Standl.	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Conzattia sericea</i> Standl.	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Cynometra oaxacana</i> Brandegee.	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Heteroflorum sclerocarpum</i> M. Sousa	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Senna multifoliolata</i> (Paul G. & Wilson) H.S. Irwin & Barneby	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Senna sousana</i> H.S. Irwin & Barneby	Mario Sousa Sánchez	
	<i>Tachigali</i> sp. (aún no descrito)	Mario Sousa Sánchez	
	Mimosoideae	<i>Acacia brandegeana</i> I.M. Johnston.	Lourdes Rico
		<i>Acacia coulteri</i> Benth.	Lourdes Rico
		<i>Acacia hirtipes</i> Saff.	Lourdes Rico
		<i>Acacia interior</i> (Britton & Rose) McVaugh	Lourdes Rico
<i>Acacia macilenta</i> Rose		Lourdes Rico	
<i>Acacia mirandae</i> Lourdes Rico		Lourdes Rico	
<i>Acacia pringlei</i> Rose		Lourdes Rico	
<i>Acacia willardiana</i> Rose		Lourdes Rico	
<i>Acaciella submontana</i> Britton & Rose		Lourdes Rico	
<i>Albizia occidentalis</i> Brandegee		Mario Sousa Sánchez	
<i>Albizia sinaloensis</i> Britton & Rose		Mario Sousa Sánchez	
<i>Calliandra lavéis</i> Rose		Héctor Hernández	
<i>Cojoba mariaelenae</i> Lourdes Rico		Lourdes Rico	
<i>Havardia mexicana</i> (Rose) Britton & Rose		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga calcicola</i> M. Sousa		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga chiapensis</i> Miranda ex M. Sousa		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga eriocarpa</i> Benth.		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga huastecana</i> M. Sousa		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga ismaelis</i> M. Sousa		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga latibracteata</i> Harms.		Mario Sousa Sánchez	
<i>Inga sinacae</i> M. Sousa & Ibarra- Manriquez		Mario Sousa Sánchez	
<i>Leucaena esculenta</i> (Moç. & Sessé ex A. DC.) Benth.		Mario Sousa Sánchez	
<i>Leucaena greggii</i> S. Watson		Mario Sousa Sánchez	
<i>Leucaena macrophylla</i> Benth.		Mario Sousa Sánchez	
<i>Lysiloma candidum</i> Brandegee		Mario Sousa Sánchez	
<i>Lysiloma microphyllum</i> Benth.		Mario Sousa Sánchez	
<i>Mimosa galeottii</i> Benth.		Rosaura Grether	
<i>Zygia turneri</i> (McVaugh) Barneby & J.W. Grimes		Mario Sousa Sánchez	

Con el objetivo de delimitar el área de distribución de las especies y las áreas de mayor riqueza específica en México, se tomaron en cuenta las siguientes unidades geográficas operativas (OGU's):

- Provincias biogeográficas de México. Se consideró el trabajo cartográfico elaborado y distribuido en formato digital por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO 1997). El mapa en escala 1:4,000 000, está conformado por 19 provincias, definidas con base en 4 sistemas de clasificación, tres de los cuales toman criterios de tipo biogeográfico (patrones de

distribución de plantas vasculares, anfibios, reptiles y mamíferos); el cuarto criterio toma en cuenta rasgos morfotectónicos del país. El análisis y delimitación de áreas fue elaborado por 15 especialistas de diferentes instituciones y naciones ([http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/info\\_completa](http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/info_completa)).

- Entidades federativas. En este caso, se tomó en cuenta la información de los registros históricos sobre el estado de la República Mexicana donde se colectó la muestra de herbario.
- Cuadros de un grado por lado. Regionalizando al país en 242 cuadros de aproximadamente 32 km por 32 km = 1,018 km<sup>2</sup> (en promedio). El área total exacta de cada cuadro varía en función de su posición en el país. Los cuadros que se ubican más cerca del polo norte son siempre más pequeños que los ubicados hacia el ecuador (todas las líneas que corren longitudinalmente se unen en el polo Norte y Sur). El tamaño de las celdas estuvo determinado por la escala a la que se llevó a cabo el análisis. El uso de áreas con tamaños uniformes, permite reducir el efecto del número de especies por área.

En el caso de la determinación de las áreas de mayor riqueza específica, se llevaron a cabo conteos por especie tomando en cuenta cada una de las OGU's descritas anteriormente y se elaboraron mapas de ubicación de las zonas.

Para lograr la determinación de los tipos de vegetación más representativos para las 41 especies en conjunto, se utilizó la información contenida en las etiquetas de herbario. Con la finalidad de unificar criterios para el manejo posterior de la información resultante, se homologaron las categorías (tipos de vegetación) descritas en las etiquetas de herbario con las descritas en el Inventario Forestal Nacional 2000 (IFN 2000) (Palacio *et al.* 2000, Mas *et al.* 2002). El IFN 2000 usó como fuentes principales para la determinación de categorías por cobertura vegetal los sistemas de clasificación propuestos por Miranda y Hernández X. (1963) y Rzedowski (1986). Así, se conformó un listado que incluye 50 tipos distintos de coberturas vegetales, tomando en cuenta los tipos de vegetación que existen en el país. Para facilitar el manejo de información, los 50 tipos de coberturas fueron agrupados en 11 categorías más generales tomando en cuenta afinidades de tipo fenológico y estructural (Tabla 2); esta reagrupación de categorías fue utilizada en la asignación de los tipos de vegetación más representativos para las especies manejadas en el trabajo.

Posteriormente, se procedió a calcular proporciones de cobertura forestal para cada uno de los cuadros de 1° por 1° geográfico, tomando en cuenta los tipos de vegetación que fueron los más representativos para las 41 especies. Dichas proporciones fueron calculadas en base a la información contenida en el IFN 2000 sobre la superficie abarcada por cobertura vegetal (Palacio *et al.* 2000).

**Tabla 2.** Categorías propuestas y nombres de los tipos de coberturas vegetales que las conforman (incluye a la vegetación secundaria correspondiente). La formación de cada categoría toma en cuenta afinidades de tipo fenológico y estructural.

CATEGORÍA	TIPO DE COBERTURA VEGETAL
BOSQUE DE PINO	Bosque de Pino Bosque de Pino con vegetación secundaria Bosque de Oyamel (incluye Ayarín y Cedro) Bosque de Oyamel con vegetación secundaria Bosque de tascate (con <i>Juniperus</i> ) Bosque de tascate con vegetación secundaria
BOSQUE DE PINO-ENCINO	Bosque de Pino- Encino Bosque de Pino- Encino con vegetación secundaria
BOSQUE DE ENCINO	Bosque de Encino Bosque de Encino con vegetación secundaria
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Bosque mesófilo de montaña Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria
SELVA ALTA Y MEDIANA PERENNIFOLIA Y SUBPERENNIFOLIA	Selva alta y mediana perennifolia Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria Selva alta y mediana subperennifolia Selva alta y mediana subperennifolia con vegetación secundaria
SELVA BAJA Y MEDIANA CADUCIFOLIA Y SUBCADUCIFOLIA	Selva baja caducifolia y subcaducifolia Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria Selva mediana caducifolia y subcaducifolia Selva mediana caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria
SELVA BAJA ESPINOSA, MEZQUITAL, HUIZACHAL	Selva baja espinosa Selva baja espinosa con vegetación secundaria Chaparral Chaparral con vegetación secundaria Mezquital (con <i>Prosopis</i> ) y Huizachal (con <i>Acacia</i> ) Mezquital (con <i>Prosopis</i> ) y Huizachal (con <i>Acacia</i> ) con vegetación secundaria
MATORRAL XERÓFILO	Matorral cracicaule Matorral cracicaule con vegetación secundaria Matorral desértico micrófilo Matorral desértico micrófilo con vegetación secundaria Matorral desértico rosetófilo Matorral desértico rosetófilo con vegetación secundaria Matorral rosetófilo costero con vegetación secundaria Matorral sarcocaula Matorral sarcocaula con vegetación secundaria Matorral sarcocracicaule Matorral sarcocracicaule con vegetación secundaria Matorral submontano Matorral submontano con vegetación secundaria Matorral subtropical Matorral subtropical con vegetación secundaria



CATEGORÍA	TIPO DE COBERTURA VEGETAL
PASTIZAL NATURAL	Pastizal natural (incluye Pastizal- Huizachal) Sabana
MANGLAR, POPAL-TULAR	Manglar Popal- Tular
OTROS TIPOS DE COBERTURA	Palmar Vegetación de galería Vegetación gipsófila

En la determinación del área mínima necesaria para conservar a las 41 especies y su hábitat mediante el método de optimización lineal, se usaron las proporciones de cobertura por tipo de vegetación y los datos obtenidos de la matriz de presencia-ausencia por cuadro geográfico para preparar la función objetivo; ésta función consiste en la suma de todos los coeficientes ( $a_i x_i$ ), donde:

$a_i$  = proporción de cobertura vegetal

$i$  = cuadro de un grado por lado

$x_i$  = proporción óptima a ser conservada

A la función la conforman 239 términos, cada uno representando los cuadros geográficos en los que hubo presencia de una o varias especies consideradas en el estudio. Cada uno de éstos tiene anexo la proporción de cobertura vegetal correspondiente expresado en decimales (éste número multiplicado por 100 nos da el valor porcentual de cobertura por cuadro geográfico). Aquellos cuadrantes donde no se detectó ninguno de los tipos de cobertura tomados en cuenta en el análisis, tuvieron índices con valor de 0 en la función. Los cuadros donde estuvieron presentes las 41 especies de árboles fueron representados como intervalos en la función ("gaps"). La restricción para el análisis, en términos de la proporción de cobertura vegetal mínima por cuadro fue de 1,000 km<sup>2</sup> (aproximadamente), que en términos de la optimización, equivale al 10% del total de la cobertura por cuadro. El análisis de optimización lineal fue llevado a cabo con el software LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimizer) Hyper Version 6.0 (1998), desarrollada por LINDO Systems Inc. Chicago, Illinois (<http://www.lindo.com>). Para ver con mucho más detalle la estructura de la función objetivo, ver el Apéndice II al final de este escrito.

## RESULTADOS

### Generación de mapas de distribución.

En total se revisaron 2,014 ejemplares del Herbario Nacional (MEXU) para las dos subfamilias de Leguminosae. En el caso de Caesalpinioideae hubo un total de 496 registros, repartidos en 7 géneros y 13 especies. Del total de géneros, 2 son exclusivos de México (*Conzattia* y *Heteroflorum*) y 3 cuentan con una cantidad importante de especies dentro de la muestra de estudio: *Caesalpinia* (4 especies), *Conzattia* (3) y *Senna* (2). Para la subfamilia Mimosoideae hubo un total de 1,534 registros de colecta, correspondientes a 11 géneros y 28 especies. Para éste grupo no existen géneros endémicos a México, pero si los hay de importancia por el número de especies: este es el caso de *Acacia* (8 especies), *Inga* (7) y *Leucaena* (3).

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos del muestreo para las 41 especies en conjunto. Las especies con el mayor número de registros (>100) fueron: *Caesalpinia platyloba* y *Caesalpinia sclerocarpa* (Caesalpinioideae); *Lysiloma microphyllum*, *Acacia coulteri*, *Leucaena esculenta*, *Albizia occidentalis*, *Inga latibracteata* y *Leucaena macrophylla* (Mimimosideae). Las especies que presentaron menos de 10 registros fueron: *Caesalpinia macvaughii*, *Conzattia chiapensis* y *Tachigali* sp. (Caesalpinioideae); *Inga ismaelis*, *Acacia interior*, *Acacia hirtipes*, *Acacia mirandae* y *Zygia turneri* (Mimimosideae).

Cuando se contabilizó el número de ejemplares colectados por estado de la República, se encontró que Oaxaca (520 ejemplares, equivalente al 25.6% del total) cuenta con el porcentaje más grande de registros, seguido por Guerrero y Jalisco que tienen en conjunto 21.8% (Tabla 4). Fueron Coahuila, Tabasco, Guanajuato, Hidalgo, Durango, Aguascalientes, Baja California y Campeche los menos representativos en este sentido, cada uno con menos de 10 ejemplares (Tabla 4).

Del número total de colectas hechas por entidad federativa, se puede observar que en la mayoría de los casos existen más ejemplares de Mimosoideae que de Caesalpinioideae; incluso en 13 de 30 casos, el total de colectas registradas para todo el estado son exclusivas de dicha subfamilia (Tabla 4). Sin embargo, un análisis de correlación entre el número de ejemplares por subfamilia mostró que estas diferencias son relativas ( $r=0.87$ ,  $p < 0.050$ ,  $N=30$ ), y que en proporción al tamaño de la muestra por grupo (subfamilia), ambas cuentan con una presencia similar en buena parte de los estados con colectas (Figura 1 y Tabla 4). Analizando este resultado, podría esperarse que individuos de ambas subfamilias se encuentren compartiendo nichos ecológicos, aunque también es factible esperar que el resultado refleje la preferencia de los colectores por visitar algunos sitios más que otros.

Tabla 3. Número de ejemplares encontrados en el Herbario Nacional (MEXU) para 41 especies de árboles endémicos de Leguminosae, que llegan a medir al menos 8 m de altura. Adicionalmente, se enlista la elevación promedio en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) para cada especie. Datos tomados de las etiquetas de herbario.

Subfamilia	Especie	Número de ejemplares	Elevación promedio (m.s.n.m)
Caesalpinioideae	<i>Caesalpinia platyloba</i>	128	400
	<i>Caesalpinia sclerocarpa</i>	108	120
	<i>Conzattia multiflora</i>	93	1400
	<i>Cynometra oaxacana</i>	49	146
	<i>Heteroforum sclerocarpum</i>	38	245
	<i>Cassia hintoni</i>	19	615
	<i>Senna multifoliolata</i>	17	2100
	<i>Conzattia sericea</i>	12	600
	<i>Senna sousana</i>	12	1440
	<i>Caesalpinia hughesii</i>	10	64
	<i>Caesalpinia macvaughii</i>	6	210
	<i>Conzattia chiapensis</i>	4	850
	<i>Tachigali</i> sp.	1	800
	Mimosoideae	<i>Lysiloma microphyllum</i>	229
<i>Acacia coulteri</i>		216	800
<i>Leucaena esculenta</i>		159	1400
<i>Albizia occidentalis</i>		122	336
<i>Inga latibracteata</i>		107	1000
<i>Leucaena macrophylla</i>		104	920
<i>Acacia pringlei</i>		97	460
<i>Mimosa galeottii</i>		90	1400
<i>Acacia macilentia</i>		80	690
<i>Lysiloma candidum</i>		43	69
<i>Acacia willardiana</i>		32	159
<i>Inga eriocarpa</i>		31	1250
<i>Leucaena greggii</i>		29	1900
<i>Calliandra laveis</i>		26	1200
<i>Acacia brandegeana</i>		25	294
<i>Havardia mexicana</i>		18	463
<i>Inga sinacae</i>		16	120
<i>Inga calcicola</i>		15	30
<i>Inga chiapensis</i>		13	300
<i>Albizia sinaloensis</i>		12	340
<i>Inga huastecana</i>		10	1200
<i>Inga ismaelis</i>		9	370
<i>Acacia hirtipes</i>		6	900
<i>Acacia interior</i>		6	1500
<i>Acacia mirandae</i>		3	665
<i>Cojoba mariaelenae</i>		3	1100
<i>Acaciella submontana</i>		2	100
<i>Zygia tumeri</i>	1	135	

Tabla 4. Porcentaje y número de ejemplares encontrados en el Herbario Nacional (MEXU) por estado de la República Mexicana. Para cada estado se enlista el porcentaje de ejemplares por subfamilia de Leguminosae. Los porcentajes por columna se calcularon tomando en cuenta el total de los registros revisados en el estudio (n= 2014).

Estado	% total por Estado	% Caesalpinioideae	% Mimosoideae
Oaxaca	25.6 (520)	7.4 (150)	18.4 (370)
Jalisco	13.2 (268)	5.1 (103)	8.2 (165)
Guerrero	8.6 (174)	3.4 (69)	5.2 (105)
Puebla	6.7 (136)	0.8 (18)	5.8 (118)
Michoacán	5.6 (114)	2.4 (49)	3.2 (65)
Baja California Sur	4.6 (93)	0.05 (1)	4.6 (92)
Chiapas	3.9 (80)	0.3 (6)	3.7 (74)
Veracruz	3.8 (77)	-	3.8 (77)
Sonora	3.7 (76)	0.3 (7)	3.4 (69)
Sinaloa	3.7 (75)	1.7 (35)	2.0 (40)
Morelos	3.4 (70)	0.5 (11)	2.9 (59)
Colima	2.4 (49)	1.0 (20)	1.4 (29)
Nayarit	2.3 (48)	0.6 (12)	1.8 (36)
Tamaulipas	2.1 (42)	0.05 (1)	2.0 (41)
Nuevo León	1.9 (38)	-	1.9 (38)
Querétaro	1.1 (23)	-	1.1 (23)
Zacatecas	0.9 (19)	0.05 (1)	0.8 (18)
Chihuahua	0.8 (17)	0.5 (10)	0.3 (7)
San Luis Potosí	0.7 (15)	-	0.7 (15)
Estado de México	0.6 (14)	0.05 (1)	0.6 (13)
Quintana Roo	0.6 (14)	-	0.6 (14)
Yucatán	0.6 (14)	-	0.6 (14)
Coahuila	0.4 (9)	-	0.4 (9)
Tabasco	0.4 (10)	-	0.4 (10)
Guanajuato	0.2 (6)	-	0.2 (6)
Hidalgo	0.2 (6)	-	0.2 (6)
Durango	0.1 (3)	-	0.1 (3)
Baja California	0.09 (2)	-	0.09 (2)
Aguascalientes	0.06 (1)	-	0.06 (1)
Campeche	0.04 (1)	0.04 (1)	-

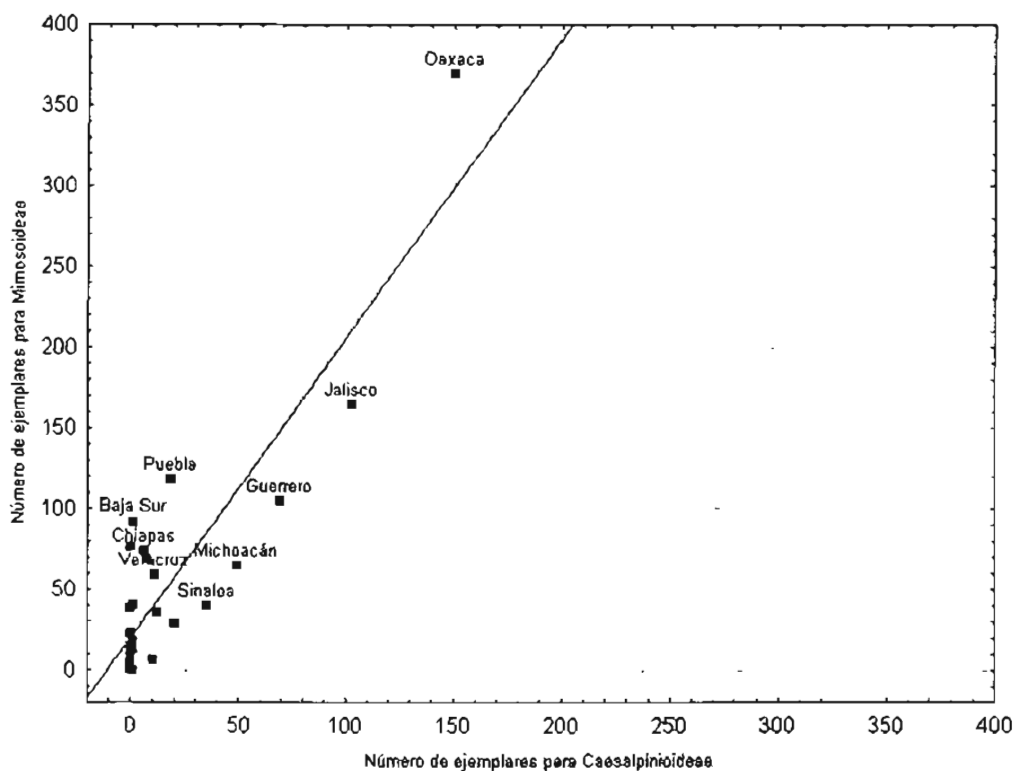


Figura 1. Correlación entre el número de ejemplares por Estado de la república mexicana para cada una de las dos subfamilias de Leguminosae ( $r= 0.87$ ,  $p < 0.05$ ,  $N= 30$ ).

De los 2,014 ejemplares que fueron revisados, 1,821 (90.4%) presentaron datos completos y detallados del lugar donde fueron colectados. Con estos datos se elaboraron mapas a escala 1: 21,000,000 para cada una de las especies de Caesalpinioideae y Mimosoideae. En el Apéndice I (al final de ésta tesis), se muestran los 21 mapas resultantes. Los mapas fueron acomodados por subfamilia, es decir, los primeros 7 mapas ilustran la distribución en el país de una o más especies de Caesalpinioideae, mientras que los 14 mapas restantes describen la distribución de especies de Mimosoideae.

## Área de distribución y patrones de riqueza.

El análisis sobre el área de distribución para las 41 especies de Leguminosae mostró que éstas se sitúan en buena parte del país (Figura 2), principalmente sobre la porción Centro- Sur de México, entre los 16° y 21° de latitud Norte (zona Neotropical). La Costa del Pacífico mexicano (desde el Sur de Nayarit hasta Chiapas), resultó ser la región más importante para los elementos que conformaron la muestra de este estudio, ya que en ella se encontró el 70.7% de todas las especies; las provincias Eje Volcánico Transversal, Depresión del Balsas, Golfo de México y Sierra Madre del Sur, también son importantes porque cada una concentró más del 30% del total de especies (Figura 3 y Tabla 5).

Hasta este punto, resalta el resultado obtenido para las provincias Eje Volcánico y Sierra Madre del Sur, porque se podría pensar que en la muestra existen elementos de zonas de alta montaña. Sin embargo este no es el caso, ya que la mayoría de las especies de la muestra no llegan a habitar sitios por arriba de los 2500 m.s.n.m. (Tabla 3). Entonces, ¿Qué es lo que está pasando? Observando los datos sobre los promedios altitudinales de la Tabla 3, es factible pensar que las 41 especies tiendan a ocupar nichos en las partes bajas de las sierras y penetrar al continente por las cañadas formadas entre cima y cima. Desafortunadamente, la escala geográfica a la que fue hecho el trabajo aquí presentado no permite llegar a un análisis más refinado en este sentido.

Conforme se avanza hacia los 21° de latitud Norte (Oriente y Occidente del país, península de Baja California y península de Yucatán), la presencia de las 41 especies es menos frecuente y sólo se observan elementos que pertenecen a la subfamilia Mimosoideae, los cuales contaron con los rangos más amplios de distribución. De este modo, la provincia de California constituyó el límite Norte de *Lysiloma candidum*, especie que fue la única presente en esa región, mientras que la provincia de Yucatán fue el límite Sureste de *Acacia pringlei* (Apéndice I, Figura 2, Tabla 5).

Por otro lado, los resultados obtenidos del conteo de especies por entidad federativa fortalecen la idea de considerar a la región del Pacífico mexicano como la más importante para las 41 especies de árboles endémicos. Así, los porcentajes más significativos los obtuvieron Oaxaca (56.1% del total), Jalisco (41.5%), Guerrero (39%), Michoacán (34.1%) y Colima (31.7%) (Tabla 6). La subfamilia Mimosoideae aporta la carga más importante de especies para cada uno de los estados anteriormente mencionados (Tabla 6).

En contraste, Baja California, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Aguascalientes, Campeche, Tabasco, y Yucatán, presentaron un valor de riqueza menor al 5.0%. Estas diez entidades federativas presentaron sólo una especie y, a diferencia de Campeche, todas pertenecen a Mimosoideae (Tabla 6).

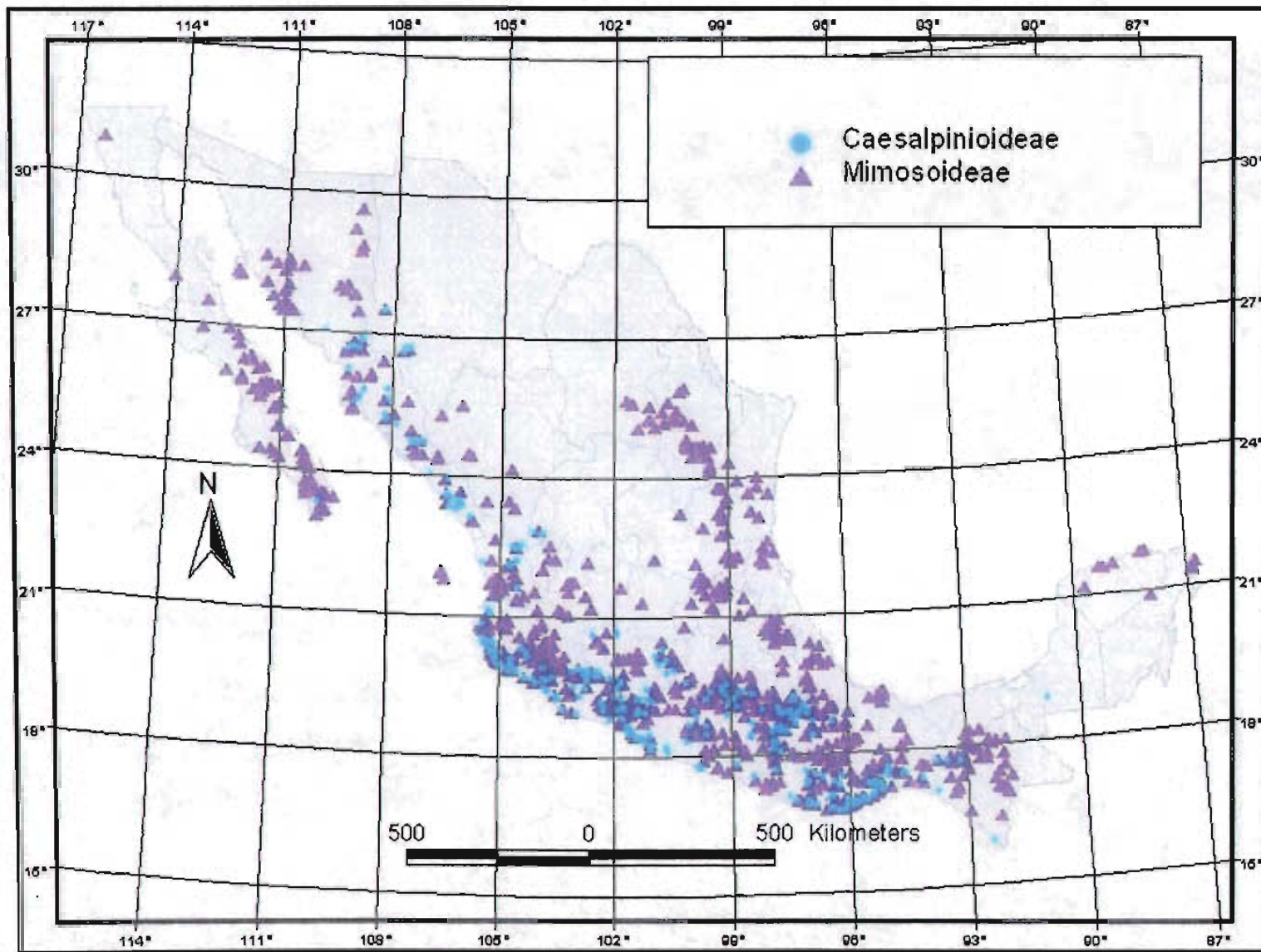
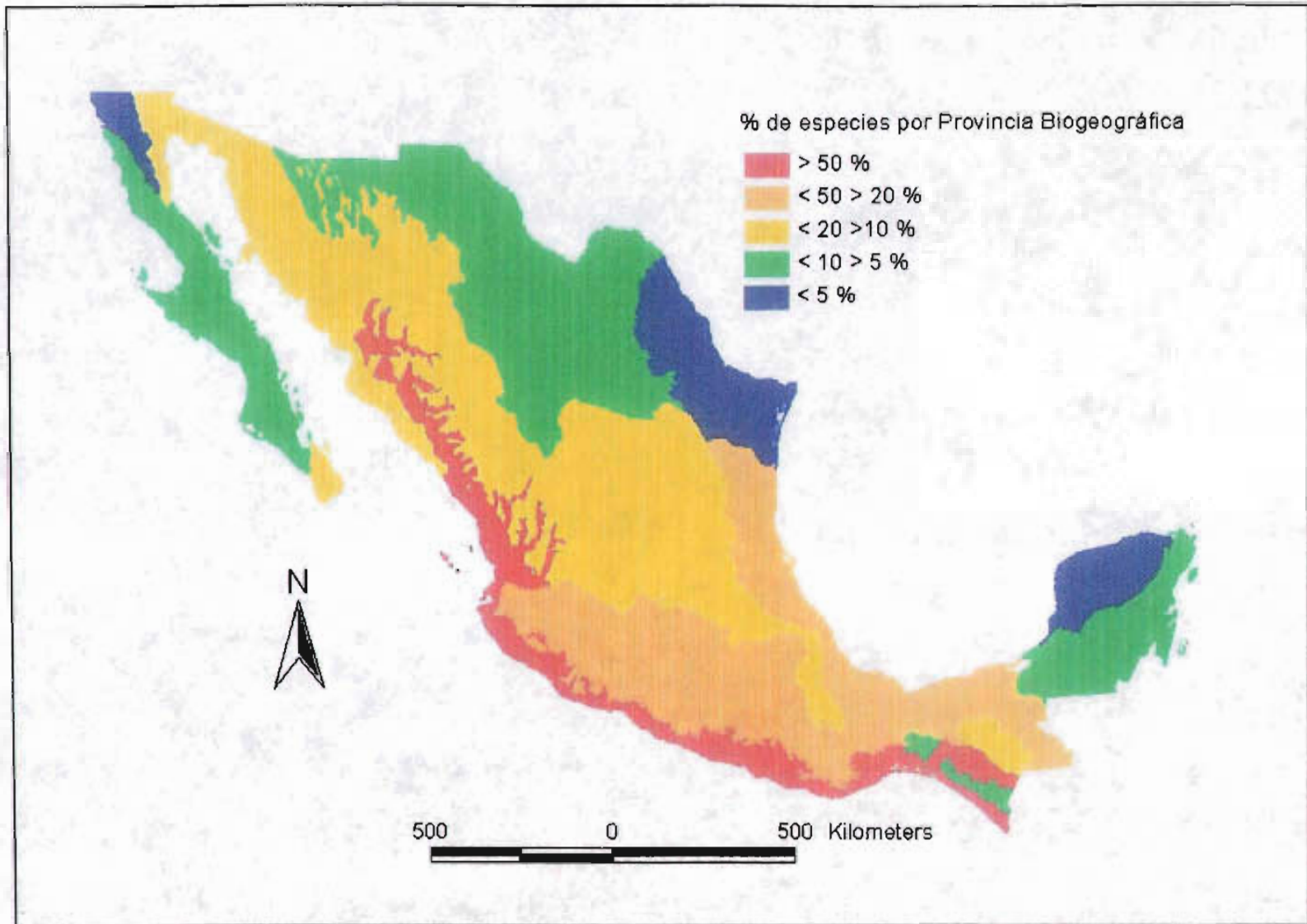


Figura 2. Área de distribución de las 41 especies de árboles endémicos de la familia Leguminosae. Es clara la predominancia de especies en la porción Centro- Sur del país.



**Figura 3.** Provincias biogeográficas de México según la CONABYO y porcentaje de especies que presentan. Provincia de la Costa del Pacífico (en rojo); provincias Depresión del Balsas, Eje Volcánico, Golfo de México y Sierra Madre del Sur (en naranja); provincias Altiplano Sur (Zacatecano- Potosino), Del Cabo, los Altos de Chiapas, Oaxaca, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sonorense (en amarillo); provincias Altiplano Norte (Chihuahuense), Baja California, Peten y Soconusco (en verde); provincias California, Tamaulipeca y Yucatán (en azul).



**Tabla 5.** Número y porcentaje de especies por Provincia Biogeográfica. Incluye el aporte por subfamilia.

Provincia Biogeográfica	# de especies totales	% de especie (n= 41)	# Caesalpinoideae	# Mimosoideae
Costa del Pacífico	29	70.7	11	18
Eje Volcánico	19	46.3	7	12
Depresión del Balsas	15	36.6	6	9
Golfo de México	14	34.1	2	12
Sierra Madre del Sur	14	34.1	5	9
Sierra Madre Occidental	12	29.3	3	9
Sonorense	11	26.8	3	8
Oaxaca	8	19.5	3	5
Sierra Madre Oriental	7	17.1	1	6
Del Cabo	7	17.1	1	6
Los Altos de Chiapas	5	12.2	-	5
Altiplano Sur	5	12.2	-	5
Altiplano Norte	4	9.7	-	4
Baja California	4	9.7	-	4
Peten	3	7.3	1	2
Soconusco	3	7.3	-	3
Tamaulipeca	2	4.9	-	2
California	1	2.4	-	1
Yucatán	1	2.4	-	1

**Tabla 6.** Número y porcentaje de especies presentes por estado de la república. Se muestra la carga de especies que brinda cada una de las subfamilias de Leguminosae a cada estado.

Estado de la República	# especies totales	%	# Caesalpinoideae	# Mimosoideae
Oaxaca	23	56.1	10	13
Jalisco	17	41.5	7	10
Guerrero	16	39.0	7	9
Michoacán	14	34.1	6	8
Colima	13	31.7	6	7
Puebla	10	24.4	2	8
Sinaloa	10	24.4	3	7
Sonora	9	21.9	2	7
Nayarit	9	21.9	2	7
Veracruz	8	19.5	-	8
Baja California Sur	7	17.1	1	6
Morelos	7	17.1	1	6
Estado de México	6	14.6	1	5
Zacatecas	5	12.2	1	4
Durango	4	9.7	-	4
Querétaro	4	9.7	-	4
San Luis Potosí	4	9.7	-	4
Chiapas	3	7.3	2	1
Chihuahua	3	7.3	2	1
Guanajuato	3	7.3	-	3
Hidalgo	2	4.9	-	2
Nuevo León	2	4.9	-	2
Tamaulipas	2	4.9	1	1
Tabasco	1	2.4	-	1
Aguascalientes	1	2.4	-	1
Baja California	1	2.4	-	1
Campeche	1	2.4	1	-
Coahuila	1	2.4	-	1
Yucatán	1	2.4	-	1

Los resultados de la determinación de patrones de distribución y riqueza de las especies estudiadas utilizando cuadros de un grado por lado, indicaron que éstas se encuentran en 129 de los 242 cuadros en los que fue dividido México (Figura 4): su distribución espacial indica que son los ubicados en los estados de Jalisco, Colima, Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Chiapas, los más importantes por su riqueza (entre 10 a 17 especies) (Figura 4). Nuevamente la franja costera del Pacífico de México es la región más importante en este sentido, junto con el Eje Volcánico Transversal y la Depresión del Balsas.

Los cuadros con menos de 5 especies (en color azul, Figura 4) se ubicaron en las porciones más extremas del país: al Norte la Península de Baja California, en los estados del Oriente y Occidente de México y en el Sur la Península de Yucatán.

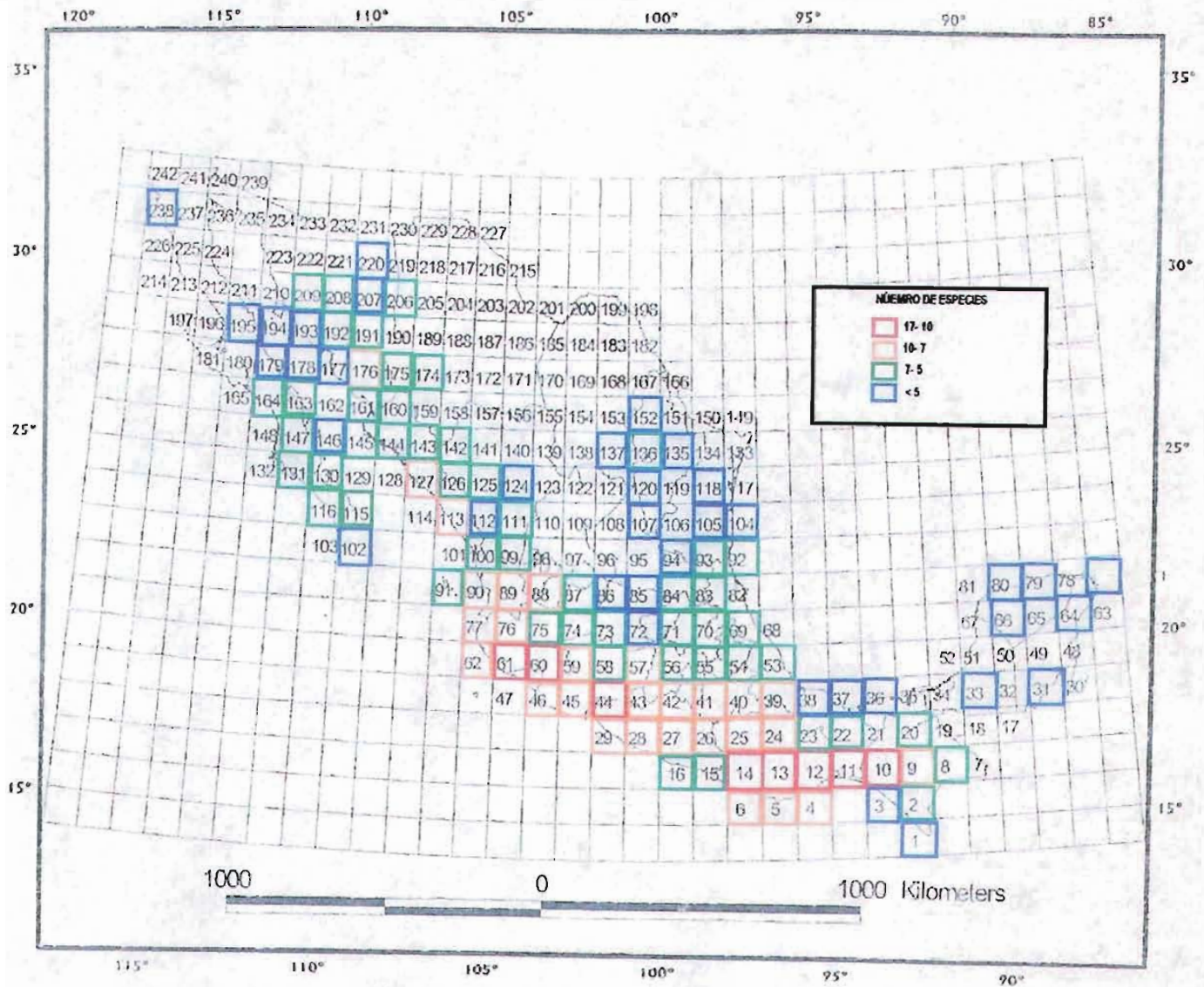


Figura 4. Riqueza de especies en cuadros de un grado geográfico por lado. En total, México fue dividido en 242 cuadros. En color rojo y naranja resaltan los cuadros con la mayor riqueza (número de especies por cuadro).

Cuando se graficó la frecuencia de especies por cuadro, se encontró que de 242 el 46.7% (113 cuadros) no cuenta con ninguna, mientras que en un sólo cuadro existen más de quince especies (Figura 5). Los cuadros más sobresalientes en este sentido fueron el # 61 (SE de la costa de Jalisco) con 17 especies, # 12 (SE de la costa de Oaxaca) con 13 especies, # 44 (frontera sur de Guerrero y Michoacán) con 11 especies, y los cuadros # 10, 11, 13 y 14 (ubicados en la región de la costa- pacífica de Oaxaca) con 10 especies cada uno (Figura 4). Este resultado nos permite observar que si bien el rango geográfico generalizado para las 41 especies es amplio, son pocos los cuadros donde se logra concentrar a un número considerable de especies.

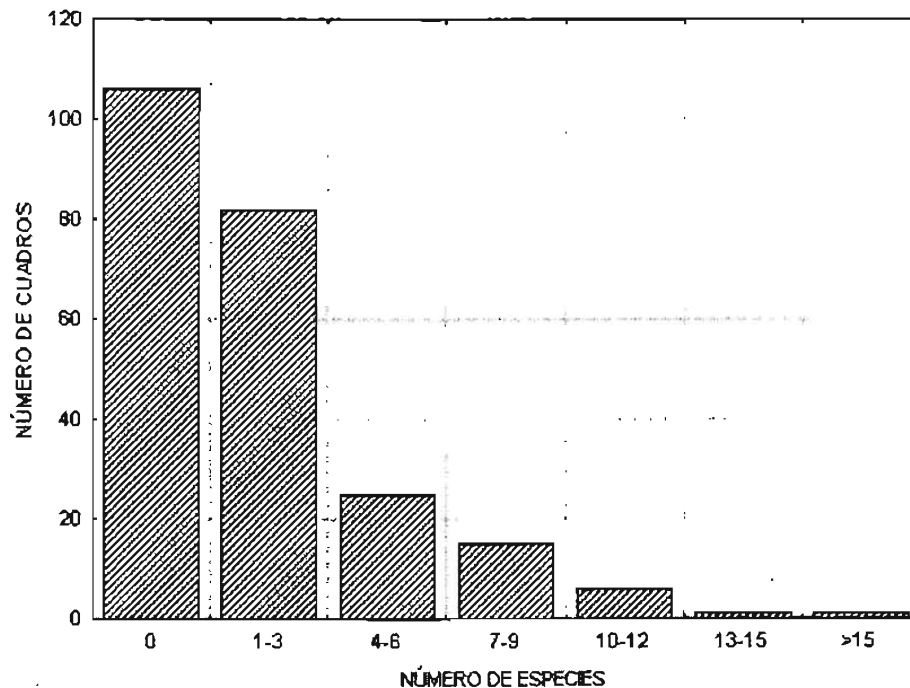


Figura 5. Frecuencia de especies por cuadro geográfico. A la vista, llama la atención que son muchos los cuadros que no cuentan con ninguna de las 41 especies estudiadas y que sólo en uno se encuentren más de 15 especies.

Al determinar cuantos cuadros ocupan las 41 especies por separado, se observó que *Acacia coulteri* y *Lysiloma microphyllum* (Mimosoideae) son quienes presentan los rangos geográficos más amplios en su distribución, ocupando el 22% de los 242 cuadros (Tabla 7). El contraste lo representa el caso de cuatro especies, las cuales se encuentran presentes en un sólo cuadro (0.4% de los 242 cuadros); estas fueron: *Conzattia chiapensis* de la localidad de Chacona en la depresión central de Chiapas, *Tachigali* sp. de Nueva Santa Flora, en el Distrito de Tuxtepec (Oaxaca), *Cojoba mariaelena* del Municipio San Miguel Chimalapa, (frontera de Oaxaca y Chiapas) y *Zygia tumeri* de La Manzanilla al Sur Este de la costa de Jalisco, frontera con Colima (véase apéndice de mapas para observar su ubicación en México). Esto último puede evidenciar la presencia de especies endémicas de distribución muy restringida, que en biología de la conservación, es una característica útil en la asignación de prioridades.

Por último, es importante decir que a pesar de encontrar resultados tan extremos respecto a la distribución de las especies que son objeto de estudio en esta tesis, buena parte de ellas (nueve especies, para ser exactos) tuvieron rangos de distribución intermedios (presencia en más de 20 cuadros) (Tabla 7), peculiaridad que Rzedowski (1991) destacó en su trabajo sobre el endemismo en la Flora Fanerogámica Mexicana.

Tabla 7. Número y porcentaje de cuadros de un grado por lado ocupados por cada una de las 41 especies de árboles endémicos. Los resultados de la cuarta columna de izquierda a derecha, corresponden a los porcentajes calculados respecto al total de cuadros ocupados por todas las especies del estudio (n= 129) y los de la última columna los calculados respecto al total de cuadros en los que fue dividido el país (n=242).

Subfamilia	Especie	Cuadros con presencia	%	%
Caesalpinioideae	<i>Caesalpinia platyloba</i>	24	18.6	9.9
	<i>Caesalpinia sclerocarpa</i>	20	15.5	8.3
	<i>Conzattia multiflora</i>	20	15.5	8.2
	<i>Cynometra oaxacana</i>	12	9.3	4.9
	<i>Conzattia sericea</i>	7	5.4	2.9
	<i>Caesalpinia hughesii</i>	6	4.6	2.5
	<i>Cassia hintoni</i>	6	4.6	2.5
	<i>Heteroform sclerocarpum</i>	6	4.6	2.5
	<i>Senna multifoliolata</i>	6	4.6	2.5
	<i>Caesalpinia macvaughii</i>	4	3.1	1.6
	<i>Senna sousana</i>	3	2.3	1.2
	<i>Conzattia chiapensis</i>	1	0.8	0.4
	<i>Tachigali sp.</i>	1	0.8	0.4
	Mimosoideae	<i>Lysiloma microphyllum</i>	57	44.2
<i>Acacia coulteri</i>		52	40.3	21.5
<i>Albizia occidentales</i>		29	22.5	12.0
<i>Leucaena esculenta</i>		24	18.6	9.9
<i>Leucaena macrophylla</i>		24	18.6	9.9
<i>Acacia pringlei</i>		22	17.0	9.1
<i>Acacia macilenta</i>		21	16.3	8.7
<i>Mimosa galeottii</i>		21	16.3	8.7
<i>Inga latibracteata</i>		17	13.2	7.0
<i>Lysiloma candidum</i>		12	9.3	4.9
<i>Inga eriocarpa</i>		11	8.5	4.5
<i>Havardia mexicana</i>		8	6.2	3.3
<i>Acacia brandegeana</i>		7	5.4	2.9
<i>Acacia willardiana</i>		7	5.4	2.9
<i>Albizia sinaloenses</i>		7	5.4	5.4
<i>Calliandra lavéis</i>		7	5.4	5.4
<i>Leucaena greggii</i>		5	3.9	2.0
<i>Acacia hirtipes</i>		4	3.1	1.6
<i>Acacia interior</i>		4	3.1	1.6
<i>Acacia mirandae</i>		3	2.3	1.2
<i>Inga huastecana</i>		3	2.3	1.2
<i>Acaciella submontana</i>		2	1.5	0.8
<i>Inga calcicola</i>		2	1.5	0.8
<i>Inga chiapensis</i>		2	1.5	0.8
<i>Inga ismaelis</i>		2	1.5	0.8
<i>Inga sinacae</i>		2	1.5	0.8
<i>Cojoba mariaelenae</i>		1	0.8	0.4
<i>Zygia turneri</i>		1	0.8	0.4

## Análisis de la vegetación.

La categoría más representativa para las 41 especies de árboles endémicos es *selva baja y mediana caducifolia y subcaducifolia*, ya que el 78.0% de las especies estudiadas se encuentran asociadas a alguna de las 4 coberturas vegetales incluidas dentro de ella (Tablas 2 y 8). Otras categorías importantes fueron la de *selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia*, *matorral xerófilo*, *bosques de pino- encino*, *bosques de encino*, y *selva baja espinosa* (incluyendo *matorral espinoso*, *mezquital*, *huizachal*) con más del 30% del total de especies incluidas. Por el contrario, las categorías *bosque mesófilo de montaña*, *bosque de pino*, *pastizales naturales*, *manglar*, *popal- tular* entre otras son las menos representativas (Tabla 8).

Tabla 8. Número de especies por categoría vegetal, tomando en cuenta la información contenida en las etiquetas de herbario. Los porcentajes fueron calculados respecto al total de especies estudiadas.

Categoría	# de especies	%
Selva baja y mediana caducifolia y subcaducifolia	32	78.0
Selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia	24	58.5
Matorral xerófilo	19	46.3
Bosque de pino- encino	15	36.6
Bosque de encino	15	36.6
Selva baja espinosa, matorral espinoso, mezquital, huizachal	13	31.7
Bosque mesófilo de montaña	11	26.8
Bosque de pino	9	21.9
Pastizal natural	8	19.5
Manglar, popal- tular	5	12.2
Otros tipos de vegetación	1	2.4

En total, las 41 especies de leguminosas endémicas se encuentran en 25 tipos distintos de comunidades vegetales; la Tabla 9 muestra una descripción general de las características que distinguen a las más importantes para las especies estudiadas, de acuerdo con los resultados señalados anteriormente. La descripción por comunidad vegetal se elaboró con base en los trabajos de Rzedowski (1986) y el IFN 2000 (Palacio- Prieto *et al.*, 2000) sobre los tipos de vegetación que existen en México. Con (\*) se señalan los campos que carecieron de información concreta al respecto.

Tabla 9. Lista de los 25 tipos de comunidades vegetales donde se encuentra con mayor frecuencia a las 41 especies de árboles endémicos, según la información de etiquetas de herbario.

Comunidad vegetal	Características
Bosque de encino	Bosque de clima templado, principalmente distribuido en zonas elevadas y con <i>Quercus</i> como género predominante.
Bosque de pino- encino	Bosques mixtos de clima templado dominados por especies de <i>Pinus-Quercus</i> ; estos bosque se clasifican en función de la dominancia de una u otra especie.
Matorral crasicaule	Comunidades arbustivas de clima árido y semiárido donde predominan las plantas suculentas como las de los géneros <i>Cercidium</i> y <i>Opuntia</i> .
Matorral desértico micrófilo	Comunidades de corte arbustivo, típicas de zonas áridas y semiáridas.
Matorral rosetófilo	Comunidades de matorral xerófilo en el que predominan especies con hojas agrupadas en forma de roseta. Algunos géneros representativos son: <i>Agave</i> , <i>Hechita</i> y <i>Dasyliirion</i> .
Matorral espinoso tamaulipeco	Comunidades arbustivas típicas de las zonas áridas y semiáridas de Tamaulipas.
Matorral sarcocaula	*
Matorral sarcocrasicaule	*
Matorral submontano	Comunidades de matorral inerme perennifolio, donde dominan <i>Helietta parvifolia</i> , <i>Neopringlea integrifolia</i> , <i>Gochnathia hypoleuca</i> , el género <i>Cordia</i> , <i>Quercus fusiformis</i> , entre otras.
Matorral subtropical	Vegetación tropical que representa fases sucesionales más o menos estables de Selva baja caducifolia.
Mezquital (incluye Huizachal)	Vegetación dominada por especies espinosas de climas tropicales a templados. Géneros representativos: <i>Prosopis</i> y/o <i>Acacia</i> .
Selva alta y mediana perennifolia	Vegetación tropical siempre verde de clima húmedo. Géneros representativos: <i>Terminalia</i> , <i>Swietenia</i> , <i>Brosimum</i> .
Selva alta y mediana subperennifolia	Vegetación tropical de clima húmedo donde el 25- 50 % de sus especies pierden las hojas en la época seca del año. Géneros representativos. <i>Alseis</i> , <i>Pterocarpus</i> , <i>Manilkara</i> entre otros.
Selva baja caducifolia y subcaducifolia	Vegetación tropical donde el 50 % o más de las especies arbóreas pierden sus hojas en la época seca del año. Géneros dominantes: <i>Plumeria</i> , <i>Bursera</i> , <i>Spondias</i> , <i>Gyrocarpus</i> , entre otros.
Selva baja espinosa	Vegetación tropical dominada por especies espinosas. Géneros representativos: <i>Parkinsonia</i> , <i>Olneya</i> , <i>Pithecellobium</i> .
Selva baja perennifolia	Vegetación de ambientes húmedos que incluye elementos siempre verdes en su mayoría, y elementos caducifolios; en ocasiones se considera análogo al Bosque mesófilo de montaña. Géneros representativos: <i>Chrysobalanus</i> , <i>Calophyllum</i> .

Comunidad vegetal	Características
Selva baja subperennifolia	Vegetación tropical donde el 25 % de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año. Géneros representativos: <i>Haematoxylum</i> , <i>Melopium</i> , <i>Byrsonima</i> .
Selva mediana caducifolia	Vegetación tropical donde el 50 % de sus especies pierden las hojas durante la época seca del año. Géneros representativos: <i>Enterolobium</i> , <i>Hymenaea</i> , <i>Orbignya</i> .

Calculando proporciones de cobertura vegetal por cuadro geográfico, tomando en cuenta las categorías importantes para las especies en estudio, se encontró que de 242 cuadros en los que se dividió a México el 84% de ellos tiene más de 10% de cobertura vegetal (Figura 6). Sólo 16% presentó proporciones de cobertura menores al 10%.

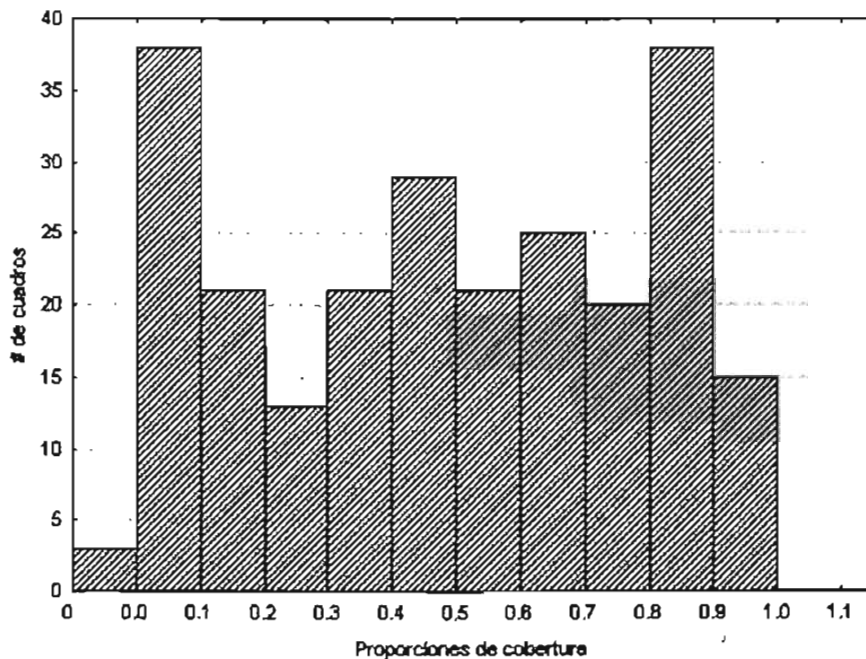


Figura 6. Distribución de frecuencias para proporciones de cobertura por cuadro geográfico.

## Determinación de áreas de conservación mediante el método de optimización lineal.

Al aplicar el método de optimización lineal, con el objetivo de definir un sistema de áreas mínimas que permitan conservar a las 41 especies y su hábitat, se pudo determinar que son necesarios un total de 17 cuadros (17,086 Km<sup>2</sup>) para lograrlo (Tabla 10). Lo anterior equivale al 13% del área de distribución de las 41 especies de árboles (129 cuadros en total) y a 1% de la superficie continental de México, que de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) es de 1,959,248 Km<sup>2</sup> (<http://mapserver.inegi.gob.mx/>).

Si observamos la disposición espacial en México de las 17 áreas (Figura 7), se avista que 10 se encuentran concentradas al Sureste de México, entre los Estados de Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Veracruz; al resto de los cuadros los encontramos de forma aislada en las regiones de Occidente (cuadros) y Oriente del país (cuadros 70, 88, 161 y 100), costa Sureste de Jalisco (cuadro 61), en la frontera de Michoacán y Guerrero (cuadro 44) y en la región Noreste de la península de Baja California (cuadro 164) (Figura 7).

Tabla 10. Lista de cuadros que formaron parte de la solución dada por el modelo optimización. Los resultados se encuentran ordenados en función de la cobertura vegetal a conservar en cada cuadro, que de acuerdo con las restricciones hechas al modelo, debe ser no mayor al 10%.

Número de cuadro	Número de especies presentes	Área (Km <sup>2</sup> )	Proporción de cobertura vegetal	Cobertura vegetal (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje dado por el valor de optimización	Área de conservación por cuadro (Km <sup>2</sup> )	Cobertura vegetal a conservar (Km <sup>2</sup> )
11	10	11888	0.5695	6776	10	1163	678
10	10	11859	0.5935	7038	10	1177	704
20	2	11770	0.3846	4527	10	1095	453
24	8	11751	0.7778	9140	10	1131	914
44	11	11649	0.6796	7917	10	1129	792
39	7	11633	0.3012	3504	10	1158	350
61	17	11584	0.5442	6304	10	1165	634
70	3	11503	0.4080	4701	10	1150	470
88	6	11310	0.6982	7897	10	1174	790
100	3	11265	0.4964	5592	10	1188	559
164	2	10965	0.6869	7532	10	1185	753
161	4	10954	0.1942	2127	10	1096	213
13	10	11860	0.6830	8100	8.1	956	656
36	1	11664	0.0769	897	7.7	897	70
12	13	11862	0.7898	9369	5.6	667	525
4	6	11975	0.0437	523	4.4	523	23
6	9	11972	0.0194	232	1.9	232	4
<b>Total a conservar</b>						<b>17,086</b>	<b>8,588</b>



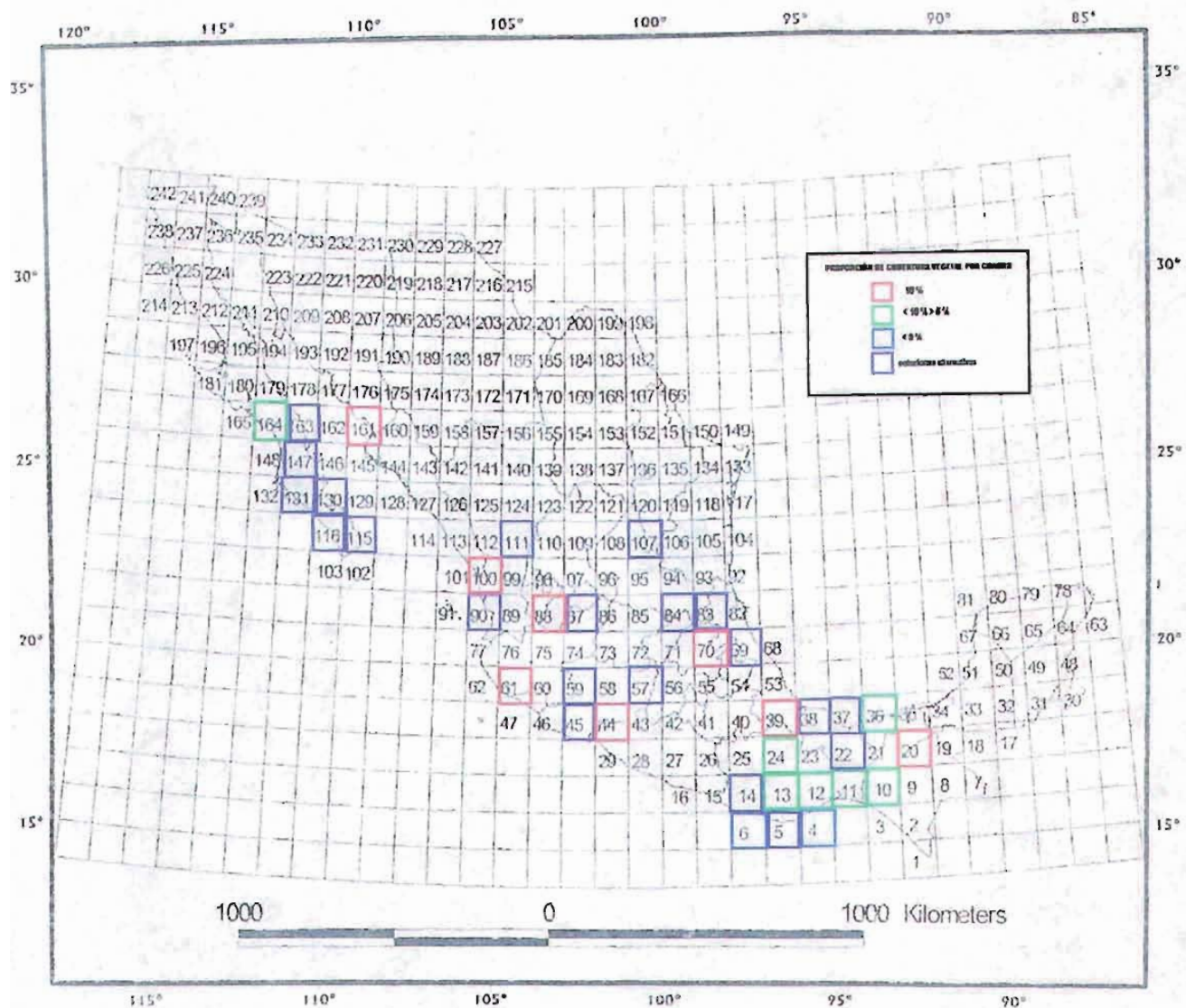


Figura 7. Distribución del sistema de áreas mínimas necesarias para conservar a las 41 especies y su hábitat. En rojo se señalan aquellos cuadros donde se conservaría el 10% de la cobertura vegetal total por cuadro. En morado se señalan las áreas que fueron dadas por el análisis como soluciones alternativas.

Destaca que 11 cuadros de la solución óptima (64.7%) se encuentran situados en regiones que presentaron un alto nivel de riqueza de especies (>5), de acuerdo con los resultados presentados en esta tesis al respecto (ver Área de distribución y patrones de riqueza, páginas 19 a 25). De entre estos once cuadros el 61 resulta particularmente interesante porque ahí se concentra más del 40% del total de especies estudiadas (Tabla 10). En contraste, los 6 cuadros restantes (35.3%) se encuentran en regiones con niveles poco significativos de riqueza (<5 especies). A pesar de estas diferencias, la Tabla 11 muestra que todas las especies de éste estudio (41) están incluidas dentro del conjunto de áreas del sistema, asegurando su presencia en por lo menos un cuadro.

Tabla 11. Cuadros (columnas) dados como solución óptima y las especies que se encuentra presentes dentro del mismo (hileras); los datos se encuentran agrupados en forma de una matriz de presencia (1) ausencia (sin número).

ESPECIES	4	6	10	11	12	13	20	24	36	39	44	61	70	88	100	161	164
<i>Acacia brandegeana</i>																	1
<i>Acacia coulteri</i>	1				1	1				1	1	1	1	1			
<i>Acacia hirtipes</i>			1														
<i>Acacia interior</i>														1			
<i>Acacia macilenta</i>	1	1		1	1	1					1	1					
<i>Acacia mirandae</i>			1	1	1												
<i>Acacia pringlei</i>		1	1	1	1	1		1		1							
<i>Acacia willardiana</i>																	1
<i>Acaciella submontana</i>															1		
<i>Albizia sinaloenses</i>																	1
<i>Albizia occidentales</i>	1	1			1						1	1		1	1		
<i>Caesalpinia hughesii</i>		1										1					
<i>Caesalpinia macvaughii</i>											1						
<i>Caesalpinia platyloba</i>						1					1	1					
<i>Caesalpinia sclerocarpa</i>	1	1		1	1						1	1					1
<i>Calliandra lavis</i>												1					
<i>Cassia hintoni</i>												1					
<i>Cojoba mariaelenae</i>				1													
<i>Conzattia chiapensis</i>			1														
<i>Conzattia multiflora</i>					1	1		1				1					
<i>Conzattia sericea</i>												1					
<i>Cynometra oaxacana</i>			1	1	1							1					
<i>Havardia mexicana</i>																	1
<i>Heteroforum sclerocarpum</i>	1										1						
<i>Inga calcicola</i>								1									
<i>Inga chiapensis</i>			1														
<i>Inga eriocarpa</i>												1					
<i>Inga huastecana</i>													1				
<i>Inga ismaelis</i>										1							
<i>Inga latibracteata</i>			1	1	1	1	1	1									
<i>Inga sinacae</i>							1										
<i>Leucaena esculenta</i>		1	1	1	1	1		1						1			
<i>Leucaena greggii</i>							1		1								
<i>Leucaena macrophylla</i>		1	1	1	1						1	1		1			
<i>Lysiloma candidum</i>																	1
<i>Lysiloma microphyllum</i>	1	1	1	1	1			1			1	1	1	1	1		
<i>Mimosa galeottii</i>						1					1	1					
<i>Senna multifoliolata</i>						1					1	1					
<i>Senna sousana</i>		1				1											
<i>Tachigali sp.</i>								1									
<i>Zygia tumeri</i>												1					

En términos de cobertura vegetal, en los 17 cuadros en conjunto se pueden conservar 8,588 Km<sup>2</sup> de superficie, considerando sólo los 25 tipos de comunidades vegetales más representativos para las 41 especies de árboles endémicos (Tabla 9, página 27). La Tabla 10 muestra que en el 70.6% del conjunto de cuadros es posible conservar una superficie igual al 10% del total del cuadro, mientras que en el 12% restante, la cobertura óptima a conservar es menor a diez (Figura 7 cuadros en rojo y Tabla 10). Las categorías por tipo de vegetación mejor representadas en el sistema de áreas propuesto por el modelo de optimización fueron: *selva baja caducifolia* y *subcaducifolia* y *selva mediana caducifolia* y *subcaducifolia*, que ocupan 16 de los 17 cuadrantes totales (Figura 8). Estas dos categorías abarcan en promedio el 28% de la superficie total a conservar que fue de 17,086 Km<sup>2</sup> (Figura 9 y Tabla 11). Los bosques templados (bosques de encino, bosques de pino y las combinaciones entre pino- encino y encino- pino) se encuentran entre los segundos mejor representados (Figura 8), con una proporción promedio de cobertura vegetal inferior al 16%. Las selvas húmedas (selva alta y mediana perennifolia y subperennifolia) y los matorrales se encontraron en 10 y 5 de los 17 cuadros, respectivamente, y contaron con una proporción promedio de cobertura vegetal del 12% (Figura 9 y Tabla 11).

Tabla 11. Proporciones promedio de cobertura por tipo de vegetación para los 17 cuadrantes propuestos por el modelo de Optimización. SAyMPySP = selva alta y median perennifolia y subperennifolia; SByMCySC = selva baja y mediana caducifolia y subcaducifolia; BE = bosque de encino; BMM = bosque mesófilo de montaña; BP = bosque de pino; BPEyEP = bosque de pino- encino y encino- pino; SBE = selva baja espinosa; OTROS = palmar, dunas costeras, vegetación Halófila y Gipsófila.

NÚMERO DE CADRO	SByMCySC	BPEyEP	BE	SAyMPySP	MATORRAL	MANGLE	BMM	BP	SBE	PASTIZAL	OTROS
61	29	4	19	0	0	0.3	0.3	0.03	0	0	0.09
12	40	27	0.4	3	0	0	0	0.6	1	0.1	0
44	52	7	8	0	0	0	0	0.08	0	0	0.1
11	10	8	2	13	0	19	19	5	3	0.8	0
10	22	10	3	11	0	0.05	0.05	8	0	0	0
13	13	25	16	4	0.09	0	0	10	0.09	0	0
6	2	0	0	0.07	0	0.3	0.3	0	0	0	0
24	7	23	9	20	0	0	0	7	0	0	0
39	2	0	0.09	17	0	0	0.09	0	0	0	0
88	19	17	26	0	6	0	0	0	0.09	1	0
4	4	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0.03	0
161	3	0.02	0.04	0	9	0.3	0	0	5	0	3
100	23	7	8	0	0	6	0.3	0	1	0	0.09
70	1	4	3	8	8	0	0	4	0.09	0	0
20	0.2	2	0.2	19	0	59	9	2	0	0	0
164	0	0	0	0	62	0.01	0.01	0	3	4	0
36	0.7	0	0	0.06	0	7	7	0	0	0.3	0
<b>PROPORCIÓN TOTAL POR COBERTURA</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0.7</b>	<b>0.4</b>

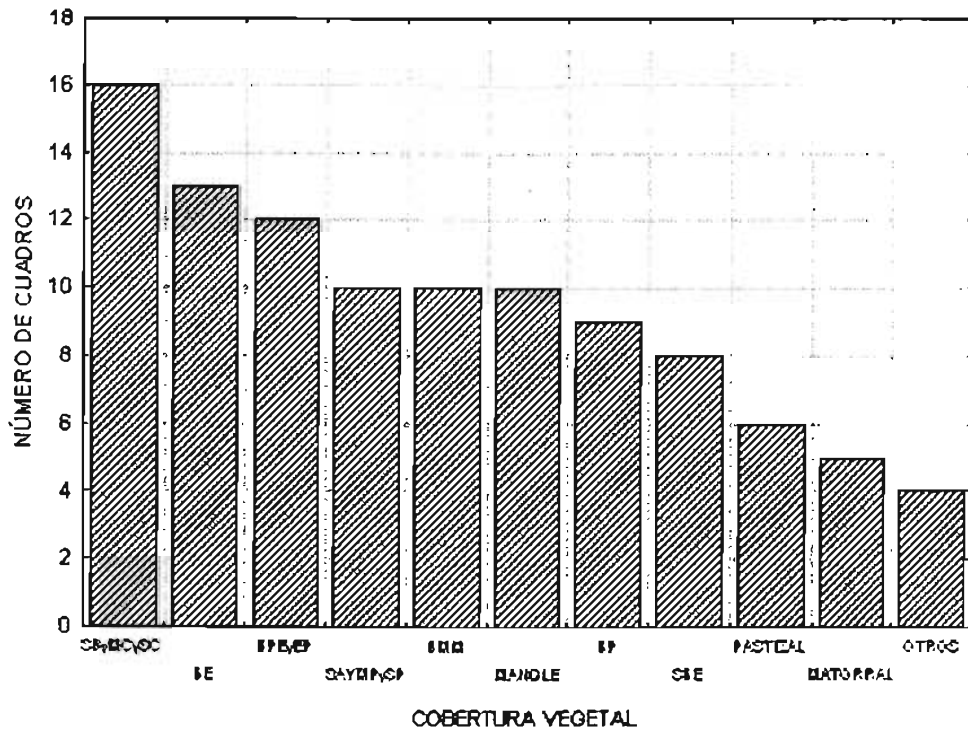


Figura 8. Número de cuadros por cobertura vegetal: SAyMPySP = selva alta y median perennifolia y subperennifolia; SByMCySC = selva baja y mediana caducifolia y subcaducifolia; BE = bosque de Encino; BMM = bosque mesófilo de montaña; BP = bosque de Pino; BPEyEP = bosque de Pino- Encino y Encino- Pino; SBE = selva baja espinosa; OTROS = palmar, dunas costeras, vegetación Halófila y Gipsófila.

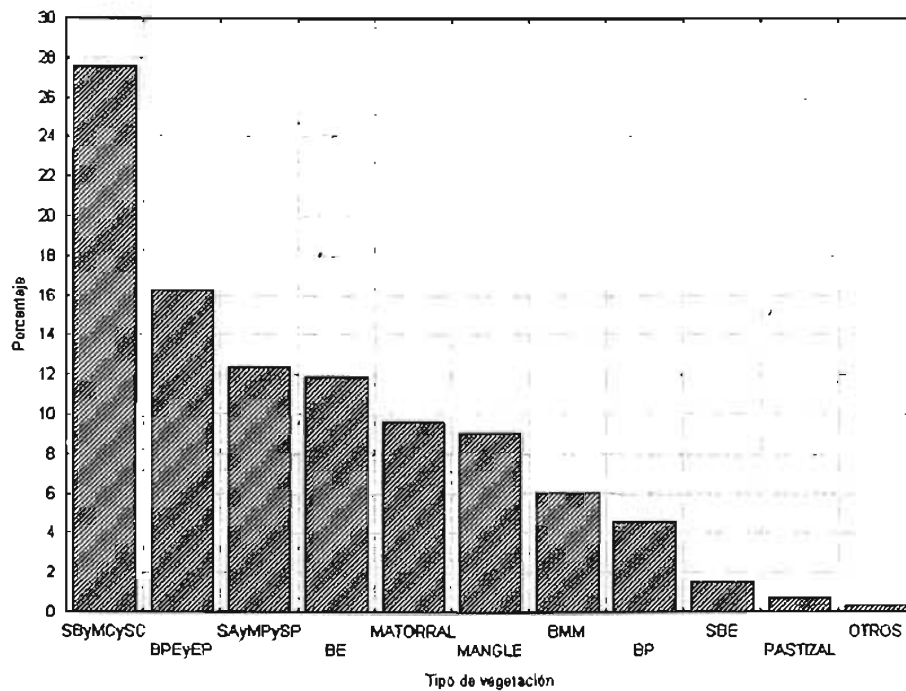


Figura 9. Proporción promedio de cobertura por tipo de vegetación para los 17 cuadrantes propuestos por el modelo de Optimización lineal como solución.

De forma adicional, con el análisis de optimización lineal se pueden obtener resultados alternativos, que permiten ampliar el espectro de posibles soluciones a un problema, que en el caso de este estudio, es la conservación de 41 especies arbóreas endémicas y su hábitat. Así, el modelo arroja un total de 21 áreas (cuadros en color morado, Figura 7), que pueden intercalarse con el sistema original para encontrar la combinación más favorable sin alterar los resultados originales.

Si llevamos a cabo un comparativo entre las áreas naturales protegidas establecidas en México y los resultados obtenidos en esta parte de la tesis, tenemos lo siguiente:

En 7 de los 17 cuadrantes dados como solución óptima, existen áreas que se encuentran incluidas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINAP) de México. Estas áreas son: 4 Reservas de la Biosfera (Chamela- Cuixmala y Sierra Manantlán en Jalisco, Tehuacán- Cuicatlán en la frontera entre Puebla y Oaxaca y La Sepultura en Chiapas), abarcando una superficie equivalente a 8,102 Km<sup>2</sup>; 2 Parques Nacionales (Lagunas de Chacahua y Huatulco en Oaxaca) cada una con una superficie promedio de 130 Km<sup>2</sup>; 1 Área de protección de flora y fauna (Sierra de Álamos en Sonora con 929 Km<sup>2</sup> de superficie) y 1 Área de protección de recursos naturales (Necaxa en Hidalgo) (Melo- Gallegos, 2002).

Los cuadros donde se contó con la presencia de Reservas de la Biosfera (10, 24 y 61) contienen en conjunto al 68.3 % de las 41 especies de leguminosas endémicas. Especialmente, en el cuadro 61 (que contó con la mayor cantidad de especies) se encuentra la reserva de la biosfera Chamela- Cuixmala, que abarca una extensión de 13, 142 hectáreas de terreno con ecosistemas lagunares, costeros y selvas baja y median caducifolia y subcaducifolia en buen estado de conservación. La reserva cuenta además con 310 especies de plantas medicinales (Sánchez- Castro 2001), 1877 especies de artrópodos (Pescador- Rubio et al. 2003), 88 especies de anfibios y reptiles (Ramírez- Bautista y García 2003), 265 especies de aves (Del Coro- Arizmendi et al. 2003) y 95 especies de mamíferos (Miranda 2003). En ella también se encuentra la Estación de Biología Chamela (Instituto de Biología U.N.A.M.) donde se llevan a cabo estudios científicos que contribuyen al conocimiento de estos ecosistemas (<http://www.ibiologia.unam.mx/ebchamela/reserva.html>).

En términos administrativos, las Reservas de la Biosfera (RB) son las únicas entidades en México que cuentan con instrumentos suficientes para lograr un trabajo eficiente de conservación de la biodiversidad; además, en términos de cobertura son las zonas de mayor extensión (Melo- Gallegos 2002).

## DISCUSIÓN

La descripción de los patrones de distribución de las especies ayuda a identificar áreas de importancia por su riqueza (número de especies por área) o por la concentración de especies endémicas, además de ser el fundamento para la formulación de objetivos a seguir en una estrategia de conservación planificada (Gaston 2000).

En este trabajo, el patrón general de distribución determinado para 41 especies endémicas de árboles de Leguminosae, mostró que son los elementos Neotropicales los que predominan para este grupo de plantas, ya que es la región de la vertiente del Pacífico la que contiene a más géneros y especies en conjunto, con el 69% del total de especies. Esta apreciación ya había sido descrita por Rzedowski (1991), quien advierte la importancia de esta región del país para la conservación por su concentración de elementos de distribución restringida. La Depresión del Balsas y el Eje Volcánico Transversal son dos regiones también importantes por la concentración de especies, sumando en conjunto un 60% de las especies.

Por entidad federativa, Oaxaca contiene más del 50% de las especies y es también el Estado que presentó el mayor número de registros en el Herbario Nacional MEXU. Jalisco y Guerrero siguen en orden de importancia, en términos de riqueza y número de registros presentes. A pesar de la aparente relación entre la riqueza específica por entidad federativa y el número de registros de herbario, es Jalisco y no Oaxaca donde encontramos el cuadro con más especies presentes (cuadro 61 con el 41.5% de las 41 especies de árboles endémicos). Por otro lado, el número de registros de herbario para Jalisco fue del 13.2 % porcentaje que no fue de los más sobresalientes.

Hasta este punto, el aspecto más discutible se encuentra relacionado con un fenómeno bien documentado y en estudios de biogeografía de plantas: por lo regular, los resultados obtenidos en un análisis biogeográfico que toma como base datos que provienen de colecciones científicas, tienden a mostrar patrones que reflejan preferencias en la toma de los datos, más que patrones naturales de distribución espacial (MacDougall *et al.* 1998, Williams 2002, Rojas- Parra *et al.* 2003, Rodríguez y Vázquez- Domínguez, 2003). La ausencia o la presencia de una especie en un mapa, no necesariamente corresponde a una condición de ausencia/presencia real, si no más bien al resultado de un trabajo de colecta selectivo en el campo. Este es el caso de los resultados obtenidos para Jalisco, donde toda la riqueza específica del estado se concentra en el cuadrante # 61, región que incluye a la Reserva de la biosfera Chamela- Cuixmala sitio en el que se ha llevado a cabo una labor de colecta intensa. Si embargo, existen resultados que contrastan con lo mencionado anteriormente: es el caso de los cuadros número 38 y 37 ubicados en la Región de los Tuxtlas en Veracruz, donde se encuentra la reserva del mismo nombre y donde también se ha colectado intensamente; estos dos cuadros cuentan con poca riqueza de especies (< 5) y el estado en general registró pocos ejemplares de herbario (8 para ser exactos).

No es coincidencia tampoco, que la región del Pacífico sea la más importante para las 41 especies de árboles de este estudio, siendo que el 76% de éstas fueron colectadas en sitios cubiertos por *selva baja* y

*mediana caducifolia* y *subcaducifolia*, cuya distribución en el país se da principalmente en dicha región (Rzedowski 1981, Trejo 1998).

Sería interesante en este sentido, incursionar en el estudio de nichos ecológicos potenciales (Sánchez-Cordero et al. 2001; Peterson et al., 2002, Téllez- Valdez y Dávila- Aranda, 2002), que puedan ayudar a resolver el problema de la representatividad de los datos en la determinación de patrones naturales de distribución, a la vez se podría proporcionar información valiosa en la planeación de futuras expediciones científicas, en la búsqueda de nuevos registros para la ciencia.

A nivel de especies, el 40% presenta patrones de distribución restringida, siendo los casos más sobresalientes los de *Conzattia chiapensis* (género endémico de México) y *Tachigali* sp. (Caesalpinioideae), *Cojoba mariaelenae* y *Zygia turneri* (Mimosoideae), que ocupan cada una de ellas exclusivamente un cuadro. Estas cuatro especies también presentaron los porcentajes más bajos en cuanto al número de ejemplares encontrados en el Herbario Nacional MEXU. Lo anterior permite catalogarlas como raras, que en conservación son particularmente importantes en la asignación de prioridades. La rareza, definida por Lambeck (1997) como la condición que presentan algunas especies respecto a limitaciones en su distribución, es una condición contrastante de vulnerabilidad que pueden presentar una o varias especies ante cambios de origen natural o antropogénico (Groves et al. 2002 Téllez- Valdez y Dávila- Aranda, 2003).

Con los resultados de la optimización lineal sería posible conservar a las 41 especies en un sistema formado por 17 cuadros de un grado geográfico por lado (1% de la superficie total de México), tomando sólo el 10% de área total dentro del mismo. Además, dentro del sistema sería posible conservar un total de 8, 588 Km<sup>2</sup> de cobertura vegetal, donde los tipos de vegetación *selva baja caducifolia* y *subcaducifolia* y *selva mediana caducifolia* y *subcaducifolia* son los mejor representados. Estos dos ecosistemas han sido catalogados como muy importantes por su riqueza de especies y por el grado de endemismo que presentan (Wendt 1998, Villaseñor 2003), aunque también han sufrido fuertes procesos de deforestación debido principalmente al crecimiento de la frontera agrícola y ganadera (Trejo y Dirzo 2000, Mas *et al.* 2000).

Aunque dentro del sistema óptimo se encontró la presencia de una o varias áreas pertenecientes al SINAP, en más de la mitad (58 %) no existen unidades legales de manejo (llámese ANPs) que aseguren el resguardo de las especies estudiadas en esta tesis y del hábitat que las aloja. Sin embargo, éstas áreas tienen potencial para establecer en ellas futuras zonas de conservación, al coincidir con regiones que han sido catalogadas como "prioritarias" por presentar condiciones de estabilidad ambiental, riqueza ecosistémica destacable e integridad biológica significativa (CONABIO, 2000). Los cuadros se encuentran en las regiones de: Sierra Sur y Costa de Oaxaca (cuadros 6 y 4 y 13 muy importantes por el número de especies), Sierra del Norte de Oaxaca (cuadro 39), Infiernillo (cuadro 44), Selva Soque- La sepultura (cuadros 12 y 11), Sierra de los Huicholes (cuadro 88), Marismas Nacionales (cuadro 100) y Bosque mesófilo de los Altos de Chiapas (cuadro 20) (CONABIO, 2000).

Lo anterior es muy importante si se considera que la representatividad del SINAP en México es pobre en función de la enorme diversidad de ecosistemas que se encuentran en el país. De acuerdo con Melo-Gallegos (2002) y Cantú (2004), hasta junio del 2000 México contaba con un total de 121 áreas de protección, de las cuales el 73 % se ubica principalmente en 5 provincias fisiográficas (Eje Volcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra de Chiapas, península de Yucatán y Sierra Madre Oriental), representando en su mayoría ecosistemas de alta montaña (entre los 2,200 y 3,500 msnm).



## BIBLIOGRAFÍA

- Cantú, C., Wrigth R.G., Scott J.M. Strand E. 2004. Assessment of current and proposed nature reserves of Mexico based on their capacity to protect geophysical features and biodiversity. *Biological Conservation*. 115, 411- 417.
- Caro, T.M., O'Doherty G. 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*. 13(4), 805- 814.
- Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad. 1997. ([http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/info\\_completa](http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/info_completa)).
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of clasification of flowering plants. Columbia University Press. U.E. 587- 601.
- Del Coro- Arizmendi, M., L. Márquez- Valdelamar, y J.F. Ornelas. 2003. Avifauna de la región de Chamela, Jalisco. En: Noguera, F.A., J.H. Vega- Rivera, A.N. García- Aldrete, y M. Quesada- Avendaño. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 297- 329.
- Di Castri, F., Robertson- Vernhes J., Younès T. 1992. *Inventing and monitoring biodiversity. A proposal for an international network. Report for a meeting of ad hoc group of the UIBS- SCOPE- UNESCO programme ecosystem function of biodiversity*. Internacional Union of Biological Science. 28 pp.
- Dykstra, D.P. 1984. *Mathematical Programing of Natural Resource Management*. Mcgraw- Hill, N.Y. E.U.A. 318 pp.
- Freitag, S., van Jaarsveld A.S. y Bogas H.C. 1997. Ranking priority biodiversity areas: an iterative conservation value- based approach. *Biological Conservation*. 82, 263- 272.
- Gaston, J.K. 1996. Species richness: measure and measurement. En: Gaston, J.K. . *Biodiversity: a biology of numbers and diference*. Blackwell Science. 300 pp.
- Groves C.R., Jensen D.B., Valutis L.L., Redford K.H., Shaffer M.L., Scott J.M., Baumgartner J.V., Higgins J.V., Beck M.W., Anderson M.G. 2002. Planning for biodiversity coservation: putting conservation science into practice. *BioScience*. 52(6), 499- 512.
- Hernández, H.M., R.I. Bárcenas. 1996. Endangered cacti in the Chihuahua desert: biogeography and conservation. *Conservation Biology*. 10, 1200- 1209.
- Ibarra- Manríquez, G. 1996. Biogeografía de los árboles nativos de la península de Yucatán: un enfoque para evaluar sus grados de conservación. *Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas*, Doctorado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 189 pp.
- Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. (<http://www.ibiologia.unam.mx/ebchamela/reserva.html>).

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI)  
<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/extterri/frontera.cfm?c=154>).
- Lambeck, R.J. 1997. Focal species: A multi- species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*. 11, 849- 856.
- LINDO Systems Inc. 1998. *LINDO User's Manual*. LINDO Systems, Inc. 1415 North dayton Street, Chicago, Illinois 60622, EUA. 288 pp.
- LINDO Systems Inc. Chicago, Illinois: <http://www.lindo.com>.
- MacDougall, A.S., J.A. Loo, S.R. Clayden, J.G. Goltz y H.R. Hinds. 1998. Defining conservation priorities from plant taxa in southeastern New Brunswick, Canada using herbarium records. *Biological Conservation*. 86, 325- 338.
- Maddock, A., A.B. Grant. 1999. Identification of Conservation- Worthy Areas in Northern Zululand, South Africa. *Conservation Biology*. 14, 155- 166.
- Margules, C.R., Pressey R.L. 2000. Sytematic conservation planning. *Nature*. 405 , 243-253.
- McVaugh, R. 1987. Flora Novo- Galiciana. A descriptive account for the vascular plants of western Mexico. Volumen 5 (Leguminosae). The University of Michigan Press. EUA. 786 pp.
- Melo- Gallegos, C. 2002. *Áreas naturales protegidas de México en el siglo XX*. Instituto de Geografía Diversidad Nacional Autónoma de México 156 pp.
- Memtsas, D.P., Dimitrakopoulos P.G., Troumbis, A.Y. 2002. Incorporating multiple ecological criteria in classical zero one selection algorithms. *Web Ecology*. 3, 2002.
- Miranda, A. 2003. Diversidad, historia natural, ecología y conservación de los mamíferos de Chamela. En: Noguera, F.A., J.H. Vega- Rivera, A.N. García- Aldrete, M. Quesada- Avendaño. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 359- 377.
- 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.
- Palacio P. J. L., G. Bocco, A. Velázquez, J.F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna- González, G. Gómez R., J. López G., M. Palma M., I. Trejo V., A. Peralta, J. Prado M., A. Rodrguez, R. Mayorga, y F. González, M. 2000. La conducción actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*. 43, 183- 203.
- Pescador- Rubio, A., A. Rodríguez- Palafox, y F.A. Noguera. 2003. Diversidad y estacionalidad de Arthropoda. En: Noguera, F.A., J.H. Vega- Rivera, A.N. García- Aldrete, M. Quesada- Avendaño. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 183- 201.
- Peterson, A.T., L.G. Ball, y K.P. Cohoon. 2002. Predicting distribution of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *British Ornithologists Union, ibis*, 144 (on- line), E27- E32.

- Polhill, R.M.** 1994. Classification of the Leguminosae. En: Bisby, F.A., J. Buckingham, J.B. Harborne. *Phytochemical dictionary of the Leguminosae*. Chapman and Hall. 35- 48.
- Polhill, R.M., P.H. Raven, y C.H. Stirton.** 1981. Evolution and systematics of the Leguminosae. En: R.M. Polhill y P.H. Raven (eds.) *Advances in Legume Sytematics* Part I. Royal Botanical Gardens, Kew. U.K. 1, 1-26.
- Ramírez- Bautista, A., y A. García.** 2003. Diversidad de la herpetofauna de la región de Chamela. En: Noguera, F.A., J.H. Vega- Rivera, A.N. García- Aldrete, y M. Quesada- Avendaño. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 251- 264.
- Ricker, M., I. Ramírez- Krauss, G. Ibarra- Manríquez, E. Martínez S., C. H. Ramos, G. González- Medellín, G. Gómez- Rodríguez, J.L. Palacio- Prieto, y H.M. Hernández.** Optimizing the conservation of Mexico's tree species diversity. (artículo en preparación).
- Rodríguez, P. y Vázquez- Domínguez, E.** 2003. Escalas y diversidad de especies. En: Morrone, J.J., J. Llorente- Bousquets. *Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 109- 114.
- Rojas- Parra, C.A., I.C. Poveda- Batallan, A. Prieto- Cruz, A. Rudas- Lleras y M.A. Luis- Martínez.** 2003. El tamaño de celda en el análisis de espaciales de la biodiversidad utilizando sistemas de información geográfica: ¿un problema de escalas?. En: Morrone, J.J., J. Llorente- Bousquets. *Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 123- 132.
- Rodrigues A.S.L. y K. J. Gaston.** 2002. Optimisation in reserve selection procedures - Why not? *Biological Conservation*. 107, 123- 129.
- Rothley, K.D.** 1999. Designing bioreserve networks to satisfy multiple conflicting demands. *Ecological Applications*. 9 (3), 741- 750.
- Rzedowski, J.** 1986. *Vegetación de México*. Limusa. D.F. México. 432 pp.
- Rzedowski, J.** 1991. El endemismo en la Flora Fanerogámica Mexicana: una apreciación analítica preeliminar. *Acta Botánica Mexicana*. 15, 47- 64.
- Rzedowski, J.** 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa. Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 129- 145.
- Sánchez- Castro, G.** 2001. Estudio sobre la diversidad química en 30 especies arbóreas medicinales de Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 113 pp.
- Sánchez- Cordero, V., A.T. Peterson, y P. Escalante- Pliego.** 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández, H.M., A.N. García- Aldrete, F. Álvarez, M.

- Ulloa. *Enfoques contemporáneos para el estudio de la Biodiversidad*. Instituto de Biología U.N.A.M. y Fondo de Cultura Económica. D.F., México. 359- 379.
- Sousa S. M., M. Ricker y H. Hernández.** 2001. Tree species of family Leguminosae in Mexico. *Harvard Papers in Botany*. 6, 339-365.
- Sousa S. M., M. Ricker, H. Hernández.** 2003. An index for the tree species of the Family Leguminosae in México. *Harvard Papers in Botany*. 7, 381-398.
- Sousa S.M.** *Heteroflorum*: un nuevo género del grupo Peltophorum (Leguminosae: Caesalpinioideae: Caesalpineae), endémico para México. *Novon*. 15 (1), 213- 218.
- Sousa S.M., A. Delgado S.** 1998. Leguminosas mexicanas: fitogeografía, endemismo y orígenes. En: Ramamoorthy T.P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa. *Diversidad Biológica de México. Orígenes y distribución*. Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México. 449- 500.
- Standley, P.C.** (1920- 26). Trees and shrubs of Mexico. *Contributions from the United States National Herbarium*. 23, 1- 1721.
- Téllez- Valdés, O., P. Dávila- Aranda.** 2003. Protected areas and climate change: a case study of the cacto in the Tehuacán- Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico. *Conservation Biology*. 3 (17), 846- 853.
- Trejo, I.** 1998. Distribución y diversidad de selvas bajas en México: relaciones con el clima y el suelo. *Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas*, Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 210 p.
- Trejo, I., y R. Dirzo.** 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*. 94, 133- 142.
- Underhill, L.G.** 1994. Optimal and suboptimal reserve selection algorithms. *Biological Conservation*. 70, 85- 87.
- Vane- Wright, R.I.** 1996. Identifying priorities for the conservation of biodiversity: systematic biological criteria within a socio- political framework. En: Gaston, J.K. *Biodiversity: A Biology of numbers and difference*. Blackwell Science. U.E. 309- 339.
- Villaseñor, J.L.** 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*. 28 (3), 160- 167.
- Villaseñor, J.L., J.A. Meave, E. Ortiz, y G. Ibarra.** 2003. Biogeografía y conservación de los Bosques tropicales húmedos de México. En: Morrone, J.J., J. Llorente- Bousquets. *Una perspectiva latinoamericana de la Biogeografía*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 206- 216.
- Williams, P.H., Margules C.R., Hilbert D.W.** 2002. Data requirements and data sources for biodiversity priority area selection. *Journal of Bioscience*. 27 (4), 327-338.
- Wendt, T.** 1998. Composición, afinidades florísticas y orígenes de la flora arbórea del dosel de los bosques tropicales húmedos de la vertiente mexicana del Atlántico. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot, y J. Fa. *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 581- 664.

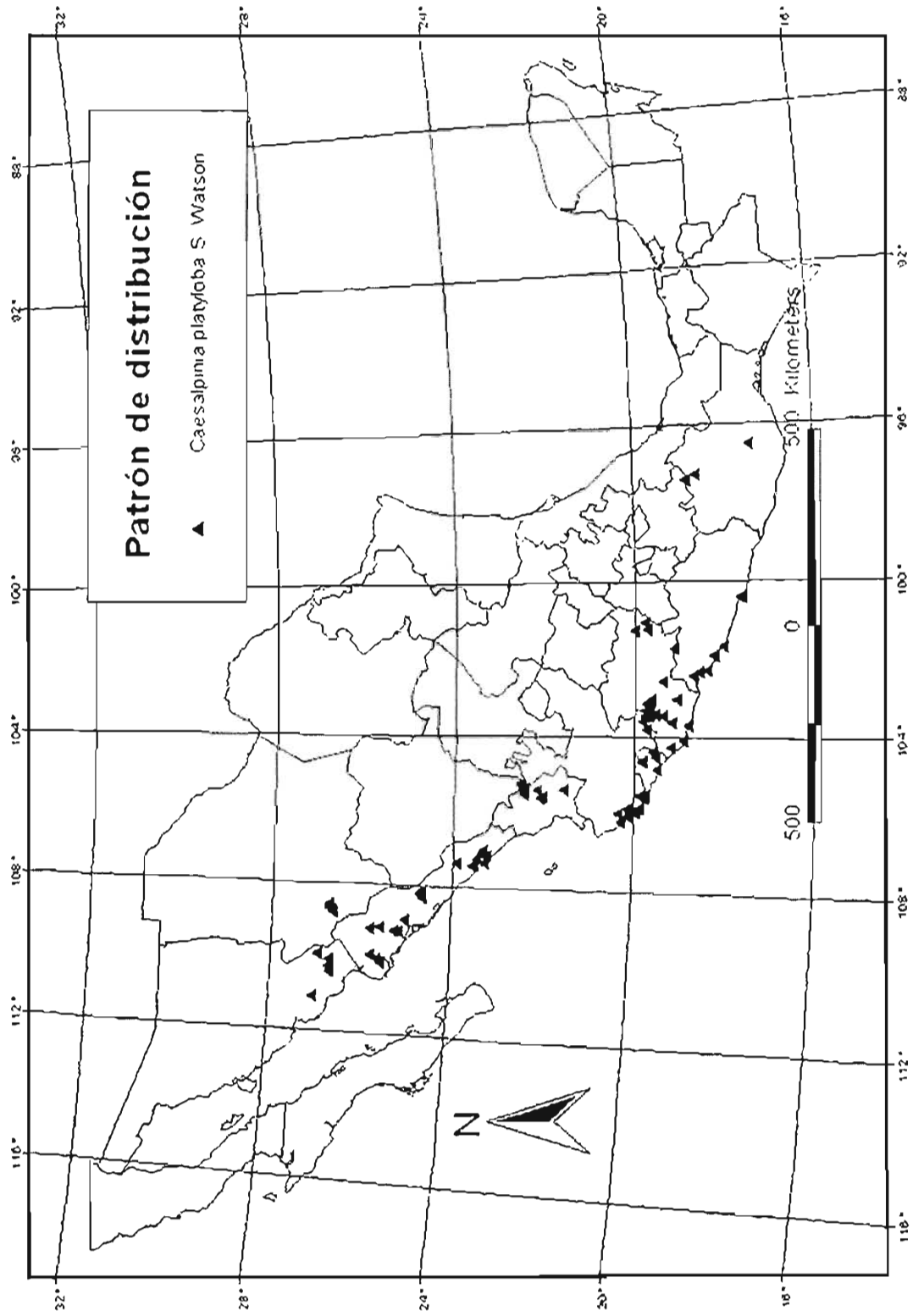
## APÉNDICE I: MAPAS DE DISTRIBUCIÓN

### SUBFAMILIA: CAESALPINIOIDEAE

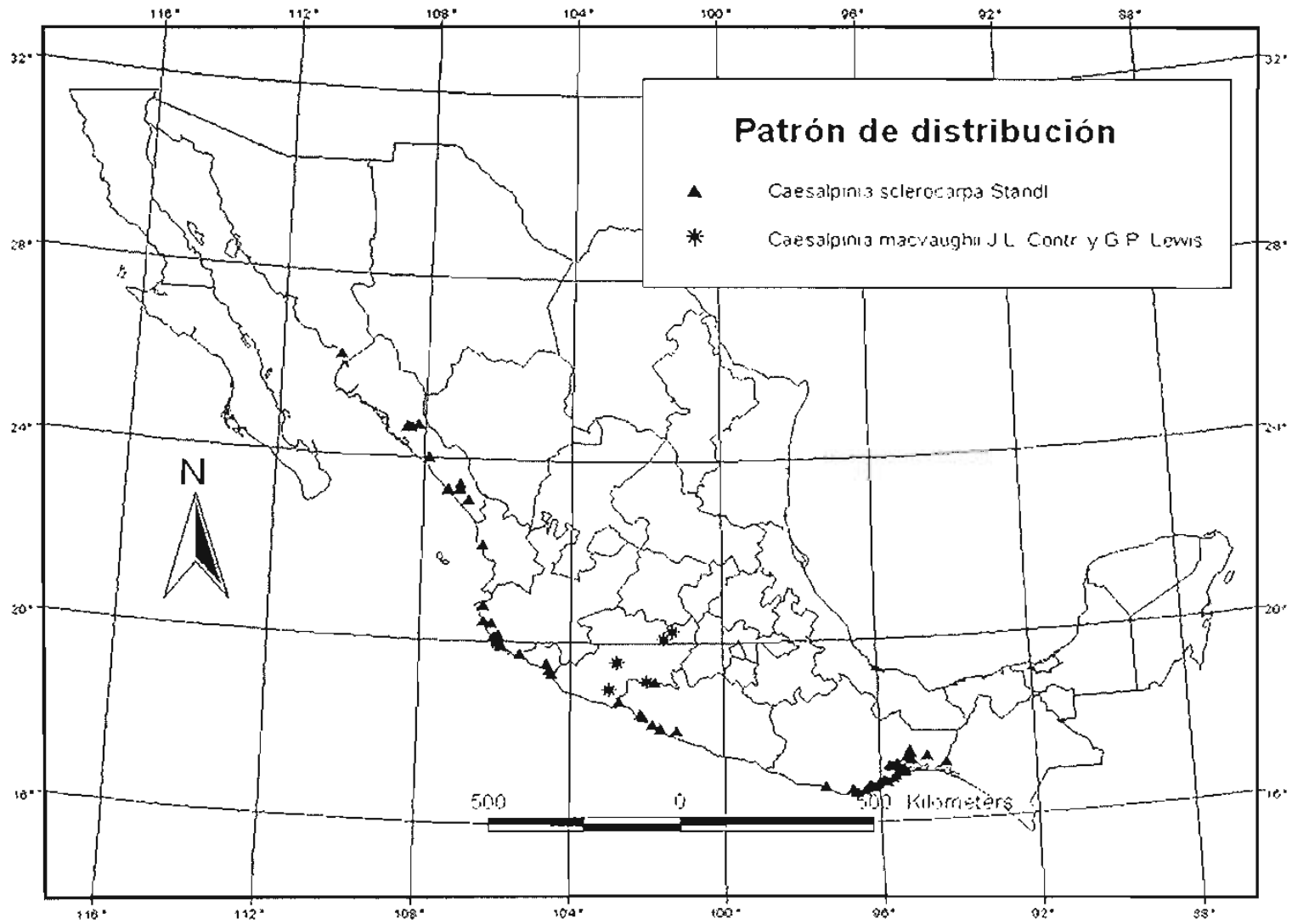
MAPA I ( <i>Caesalpinia platyloba</i> ) .....	44
MAPA II ( <i>Caesalpinia sclerocarapa</i> y <i>Caesalpinia macvaughii</i> ) .....	45
MAPA III ( <i>Cassia hintoni</i> y <i>Caesalpinia hughesii</i> ) .....	46
MAPA IV ( <i>Conzattia multiflora</i> y <i>Conzattia chiapensis</i> ) .....	47
MAPA V ( <i>Heteroflorum sclerocarpum</i> y <i>Conzattia sericea</i> ) .....	48
MAPA VI ( <i>Senna sousana</i> y <i>Cynometra oaxacana</i> ) .....	49
MAPA VII ( <i>Senna multifoliolata</i> y <i>Tachigali</i> sp.) .....	50

### SUBFAMILIA: MIMOSOIDEAE

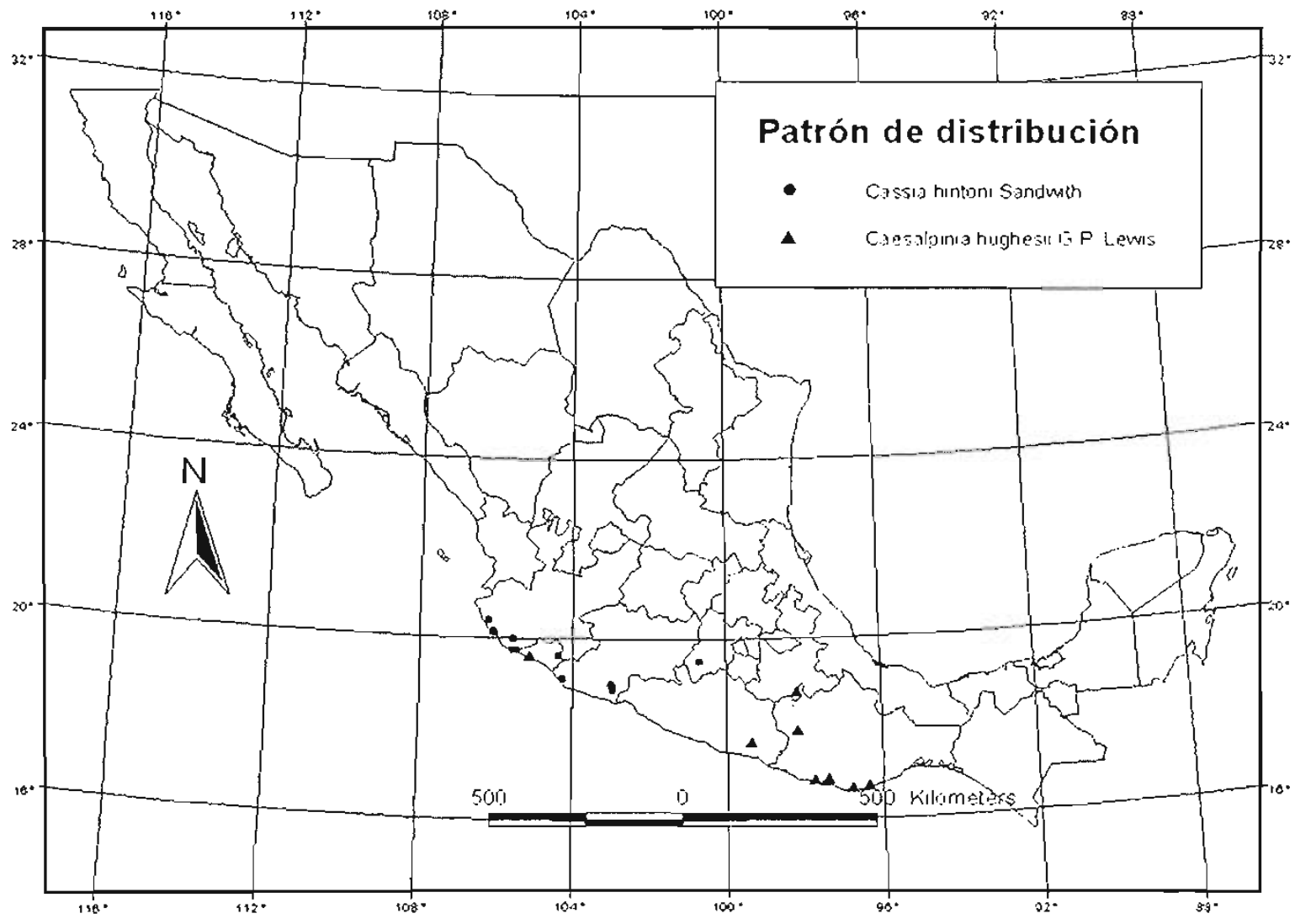
MAPA VIII ( <i>Acacia willardiana</i> y <i>Acacia macilenta</i> ) .....	51
MAPA IX ( <i>Acacia coulteri</i> y <i>Acacia brandegeana</i> ) .....	52
MAPA X ( <i>Acacia pringlei</i> y <i>Acacia interior</i> ) .....	53
MAPA XI ( <i>Albizia sinaloensis</i> y <i>Albizia occidentales</i> ) .....	54
MAPA XII ( <i>Acaciella submontana</i> e <i>Inga ismaelis</i> ) .....	55
MAPA XIII ( <i>Havardia mexicana</i> y <i>Leucaena esculenta</i> ) .....	56
MAPA XIV ( <i>Inga huastecana</i> e <i>Inga eriocarpa</i> ) .....	57
MAPA XV ( <i>Inga calcicola</i> y <i>Cojoba mariaelenae</i> ) .....	58
MAPA XVI ( <i>Inga chiapensis</i> y <i>Calliandra laveis</i> ) .....	59
MAPA XVII ( <i>Lysiloma candidum</i> y <i>Acacia mirandae</i> ) .....	60
MAPA XVIII ( <i>Leucaena macrophylla</i> e <i>Inga sinacae</i> ) .....	61
MAPA XIX ( <i>Leucaena greggii</i> y <i>Lysiloma microphyllum</i> ) .....	62
MAPA XX ( <i>Mimosa galeottii</i> y <i>Acacia hirtipes</i> ) .....	63
MAPA XXI ( <i>Zygia turneri</i> e <i>Inga latibracteata</i> ) .....	64



APENDICE: MAPA I

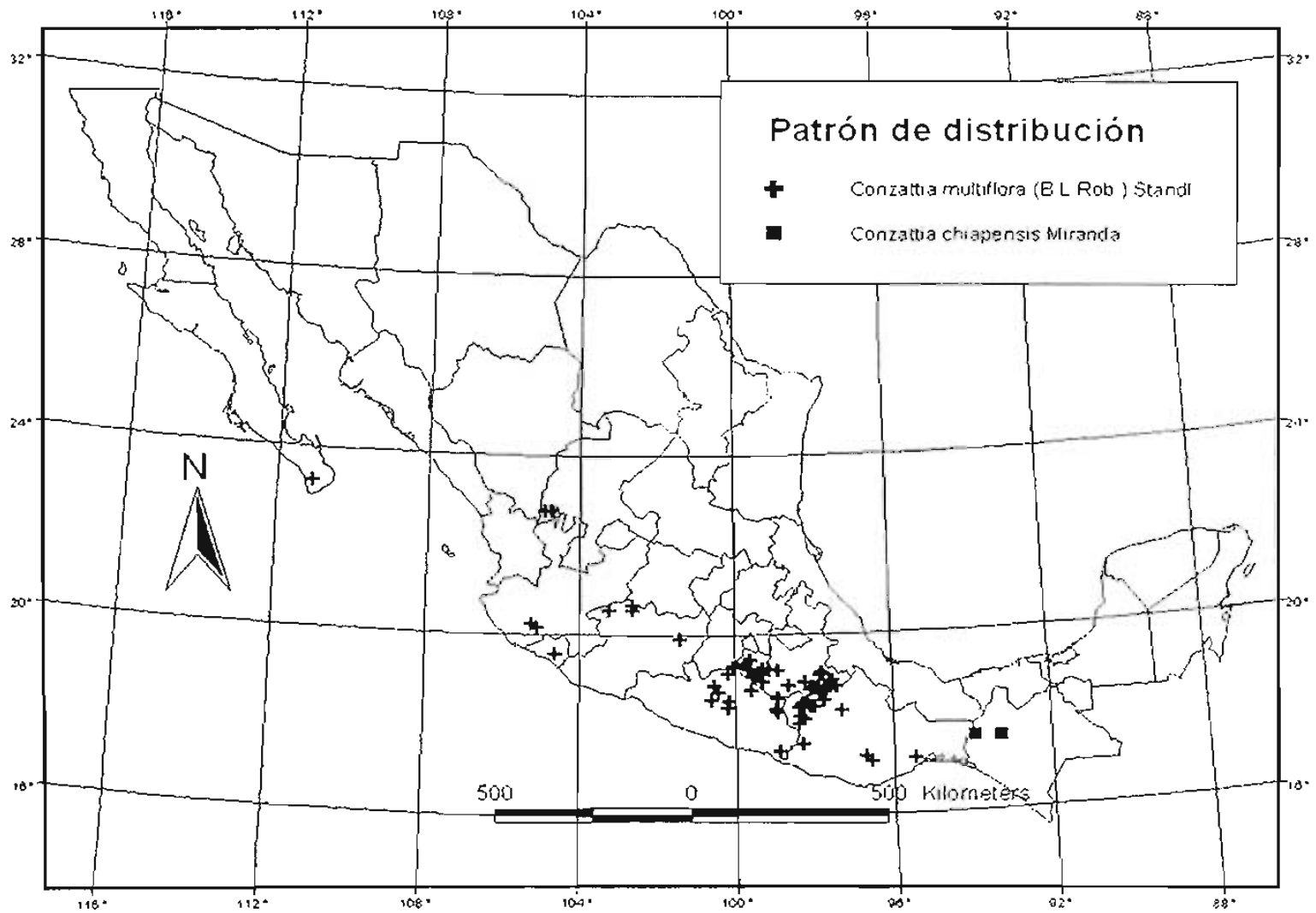


APENDICE: MAPA II

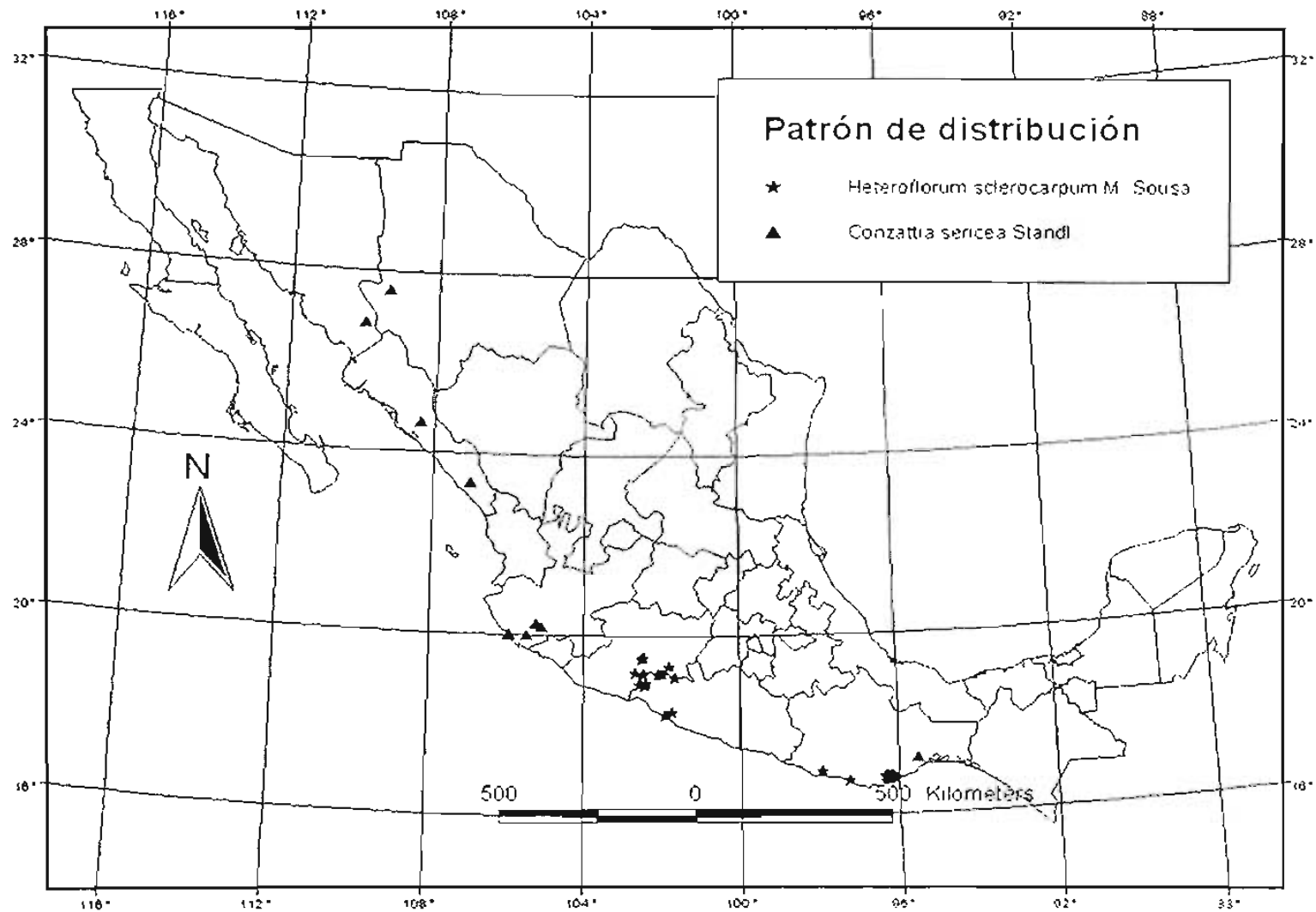


APENDICE: MAPA III

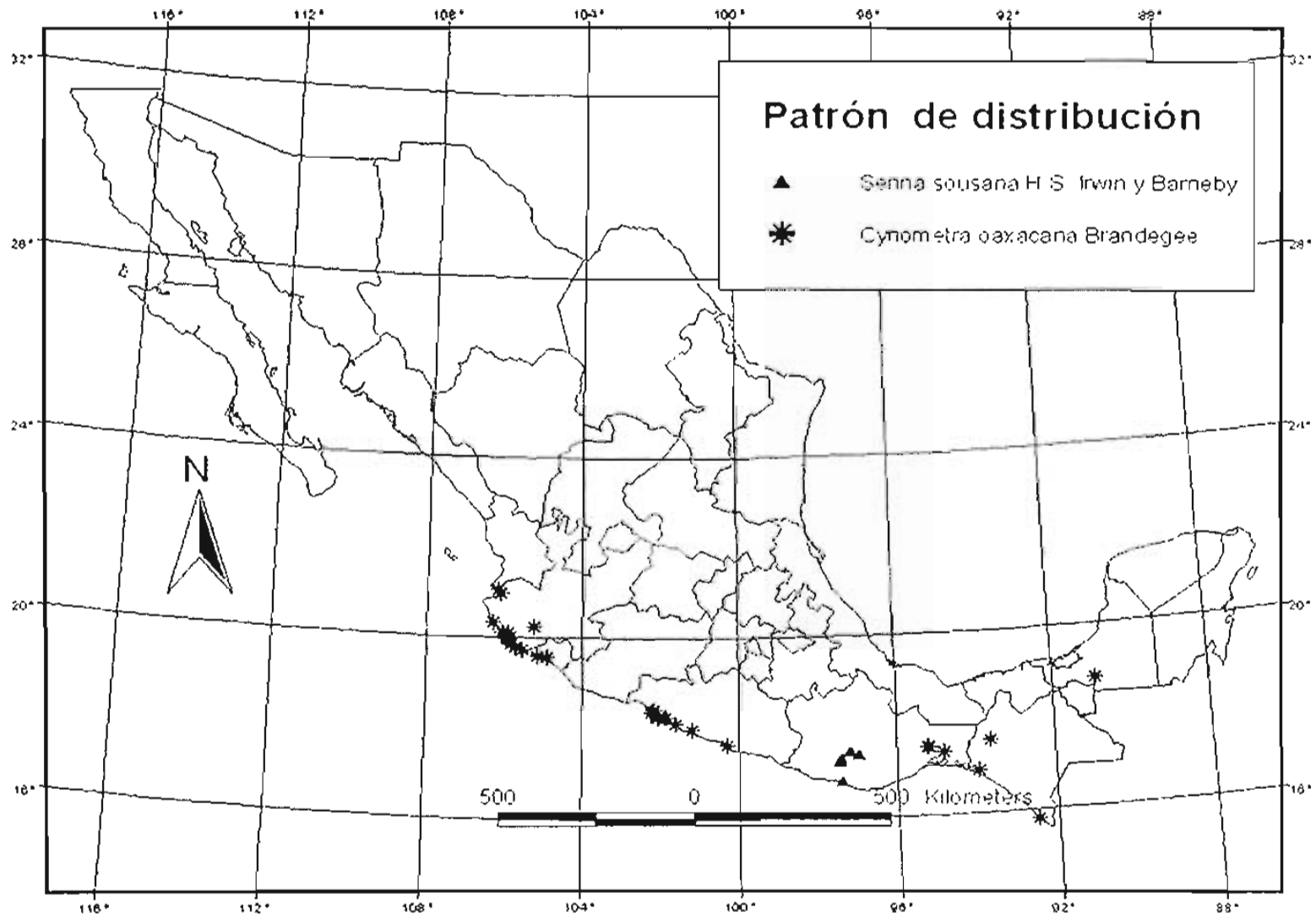




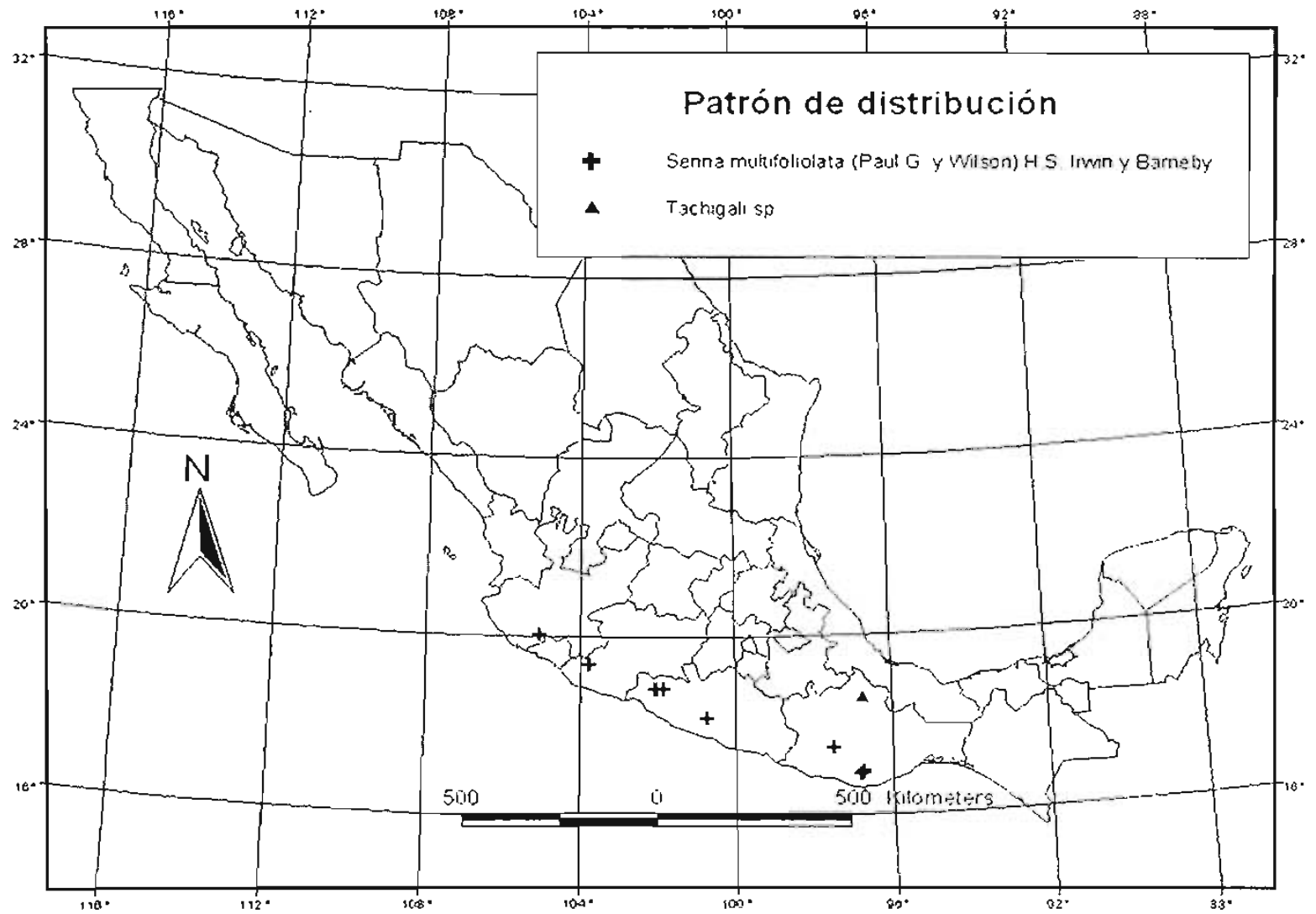
APENDICE: MAPA IV



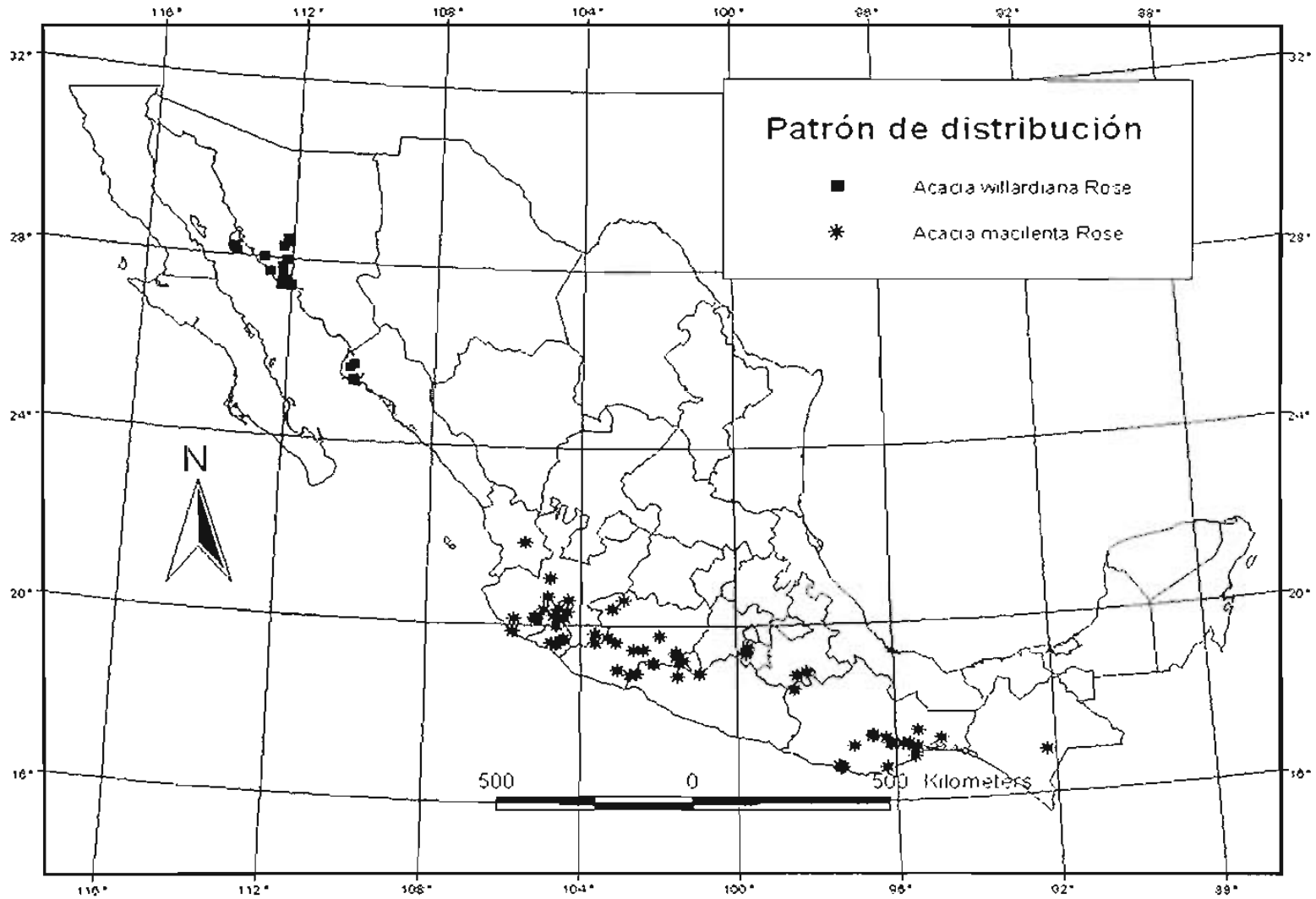
APENDICE: MAPA V



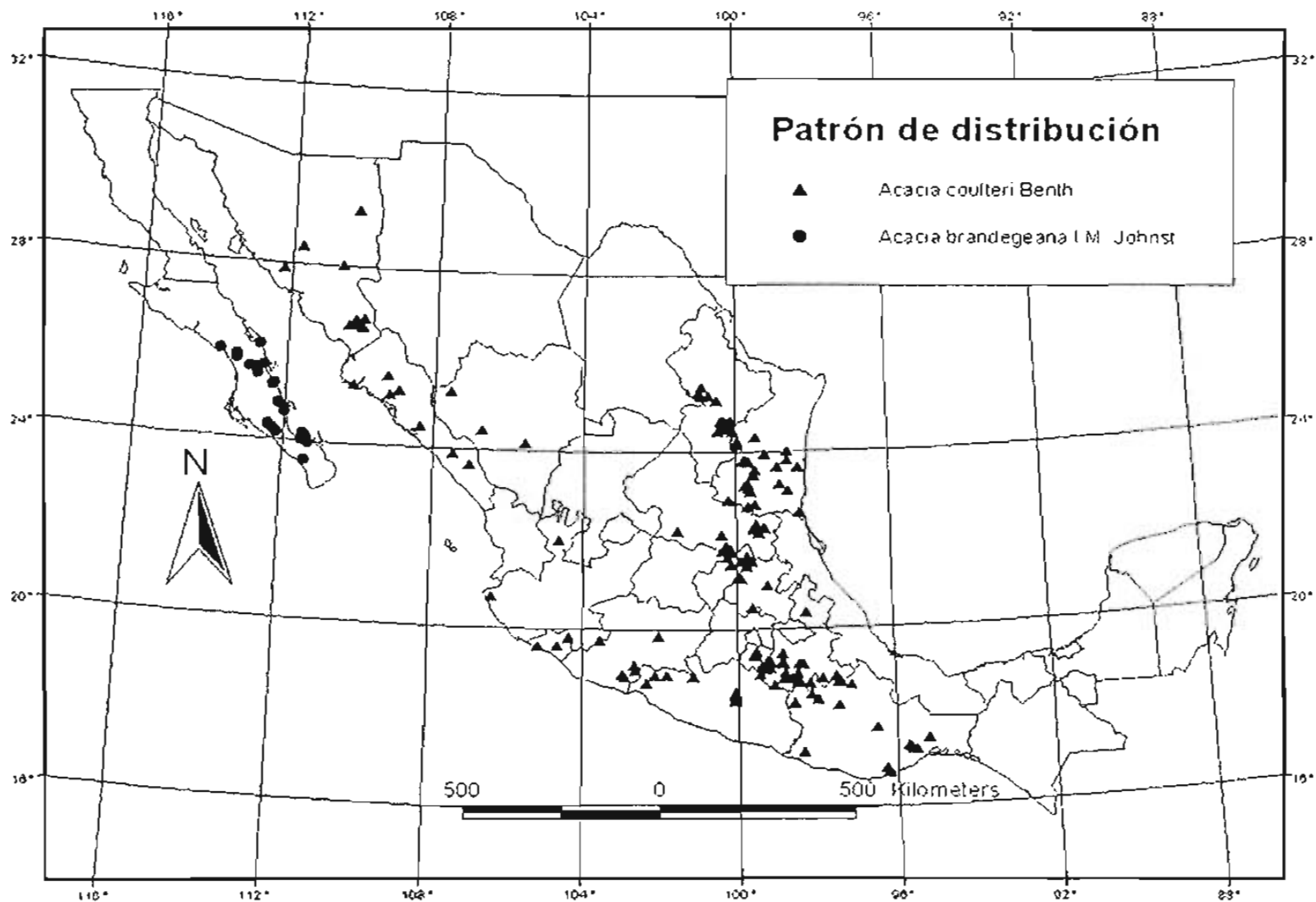
APENDICE: MAPA VI



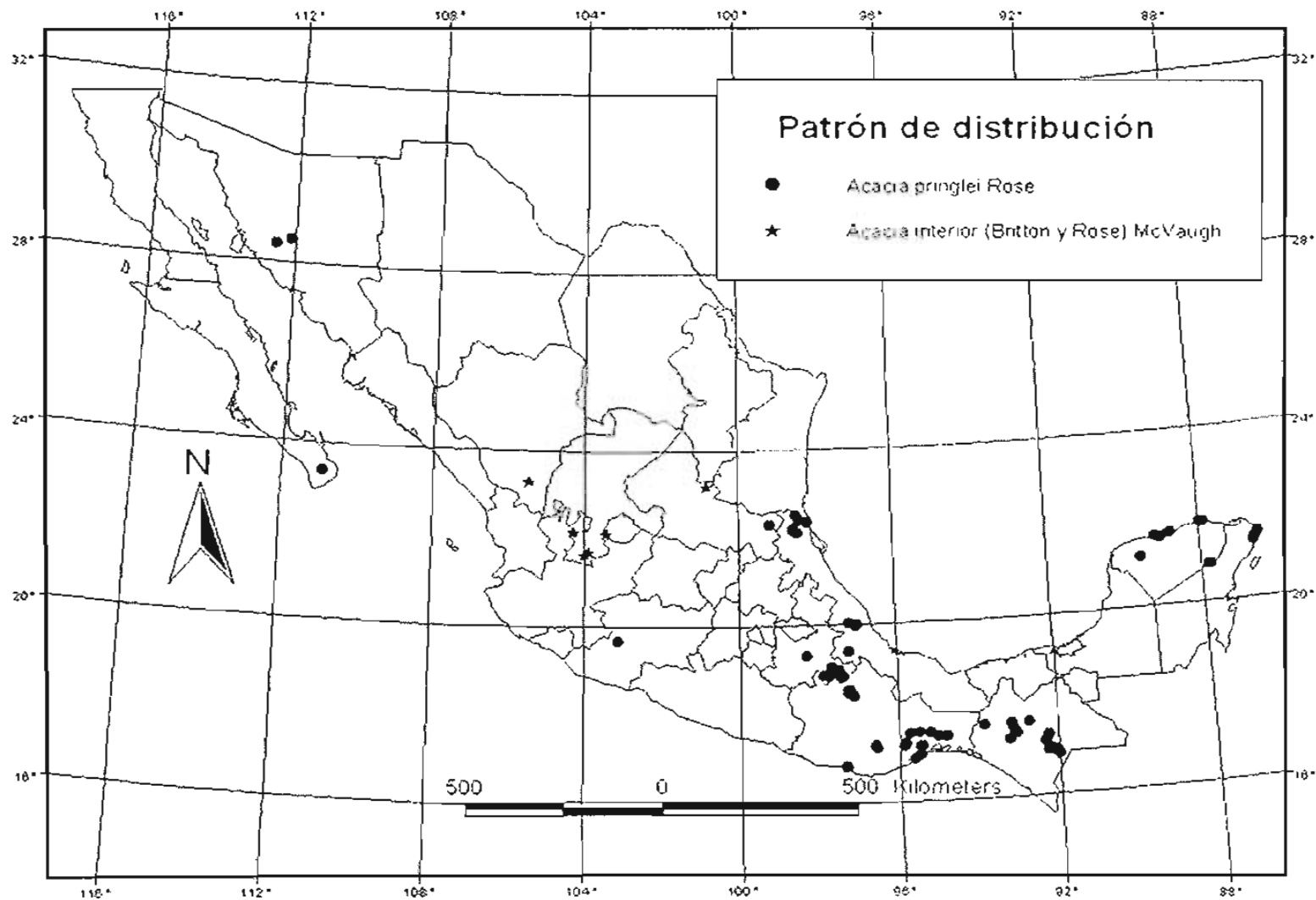
APENDICE: MAPA VII



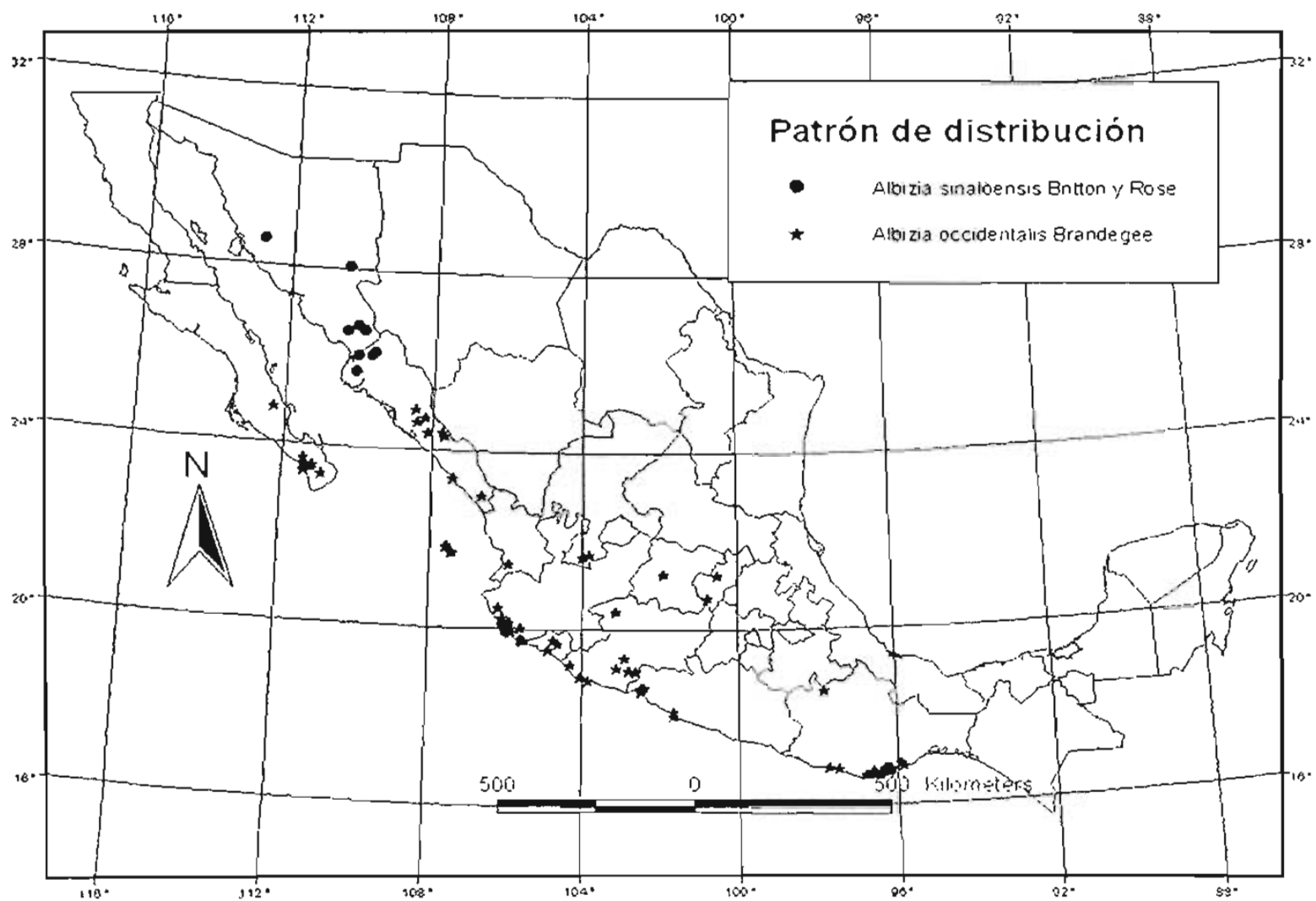
APENDICE: MAPA VIII



APENDICE: MAPA IX

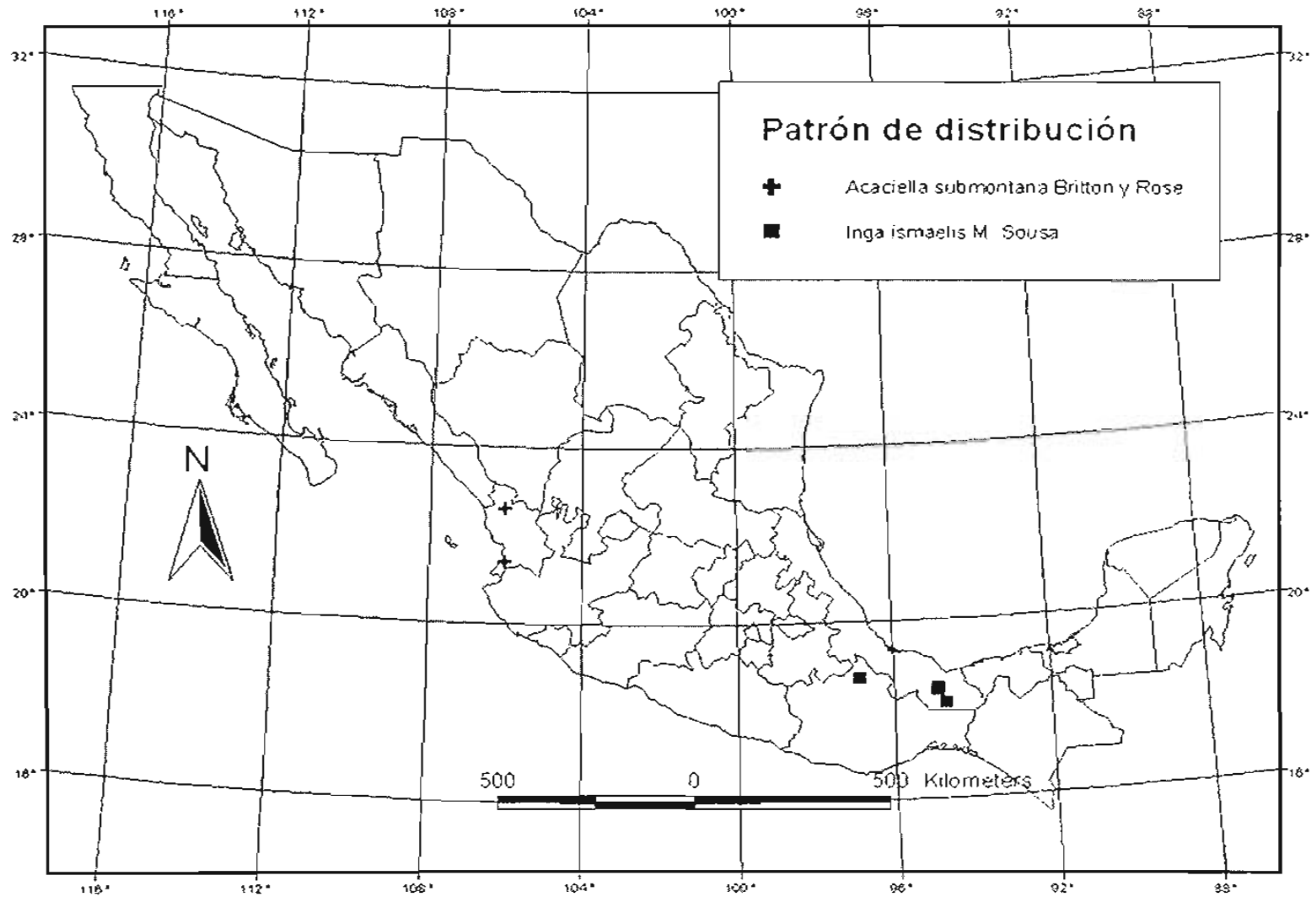


APENDICE: MAPA X

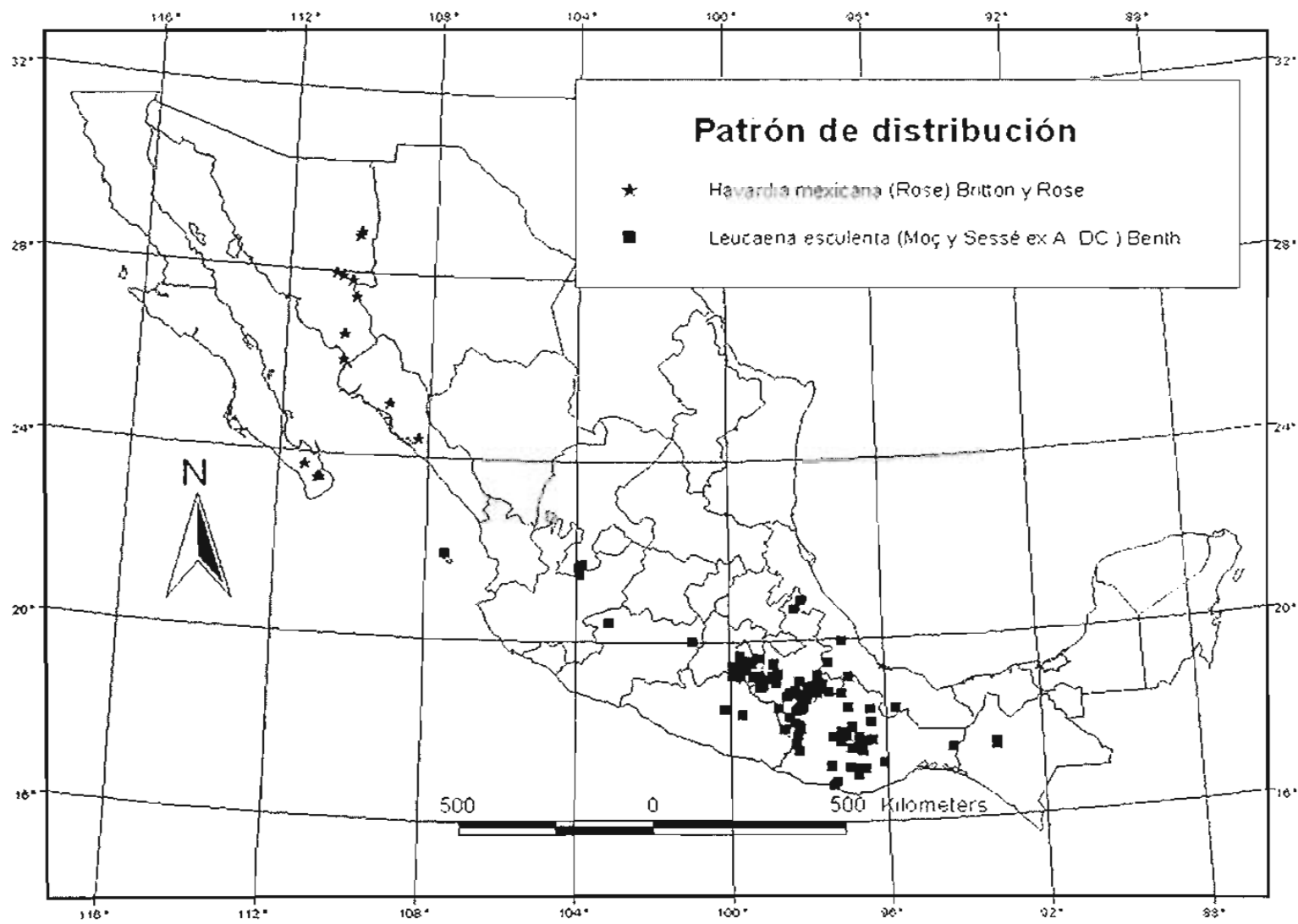


APENDICE: MAPA XI

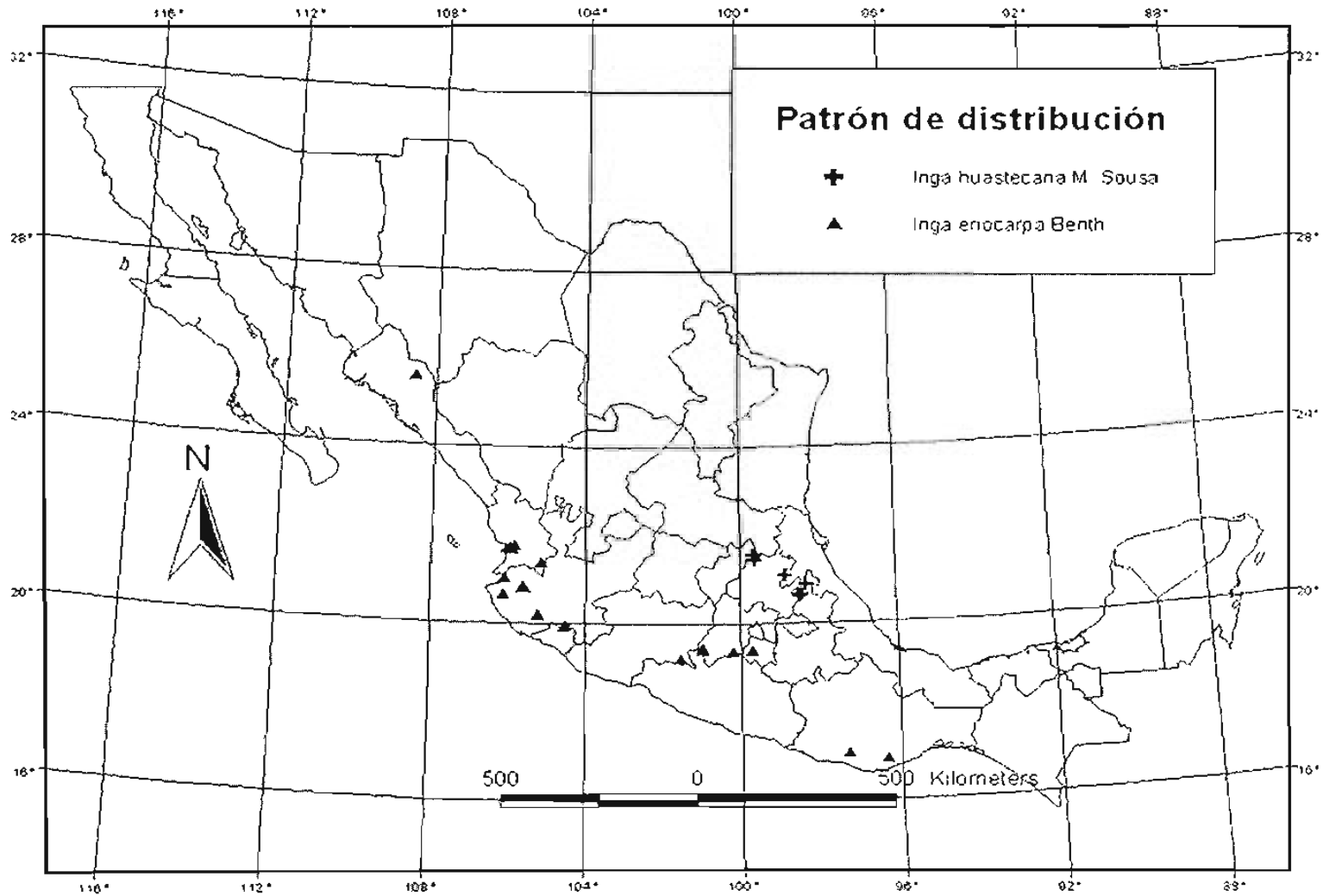




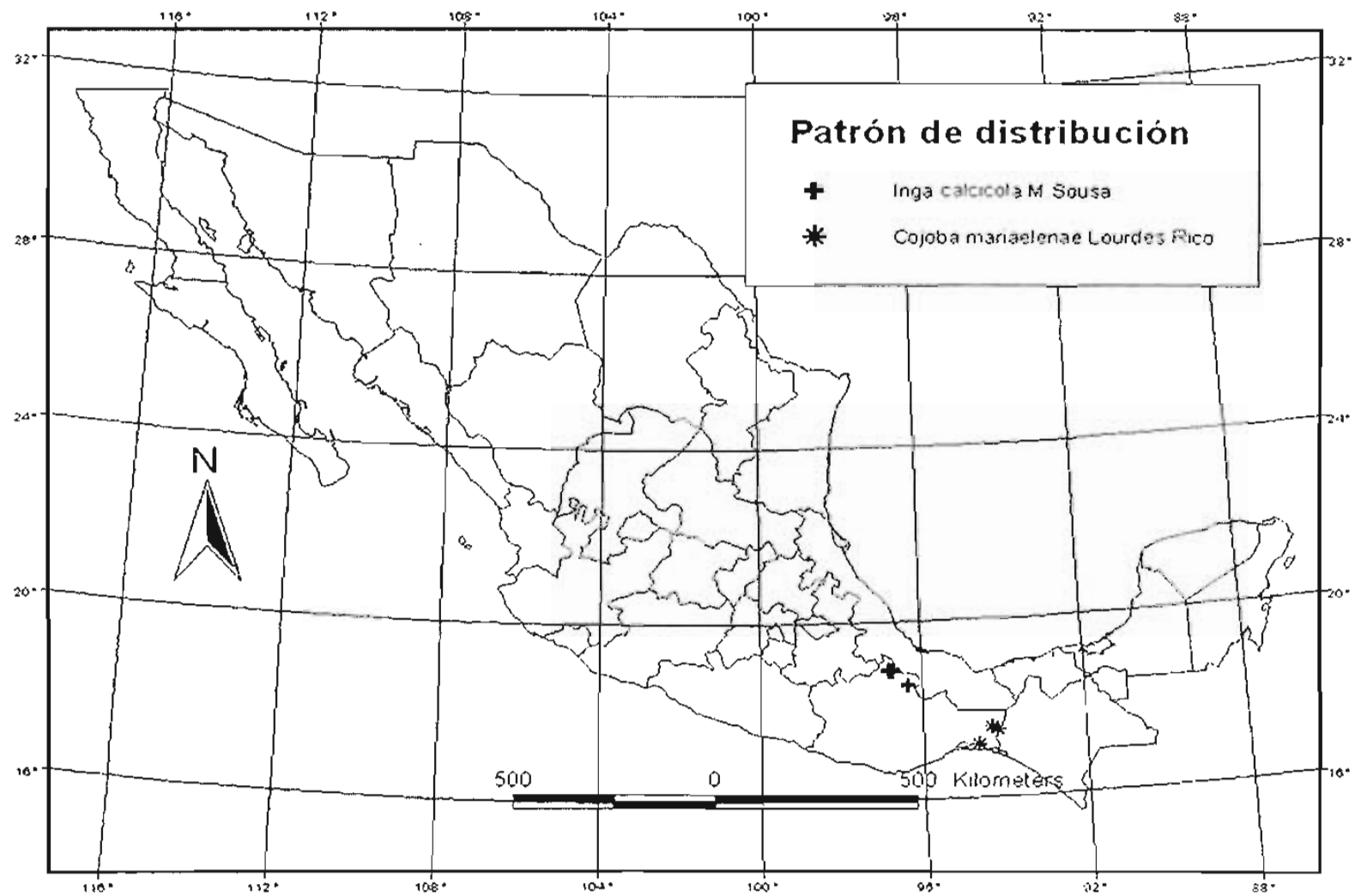
APENDICE: MAPA XII



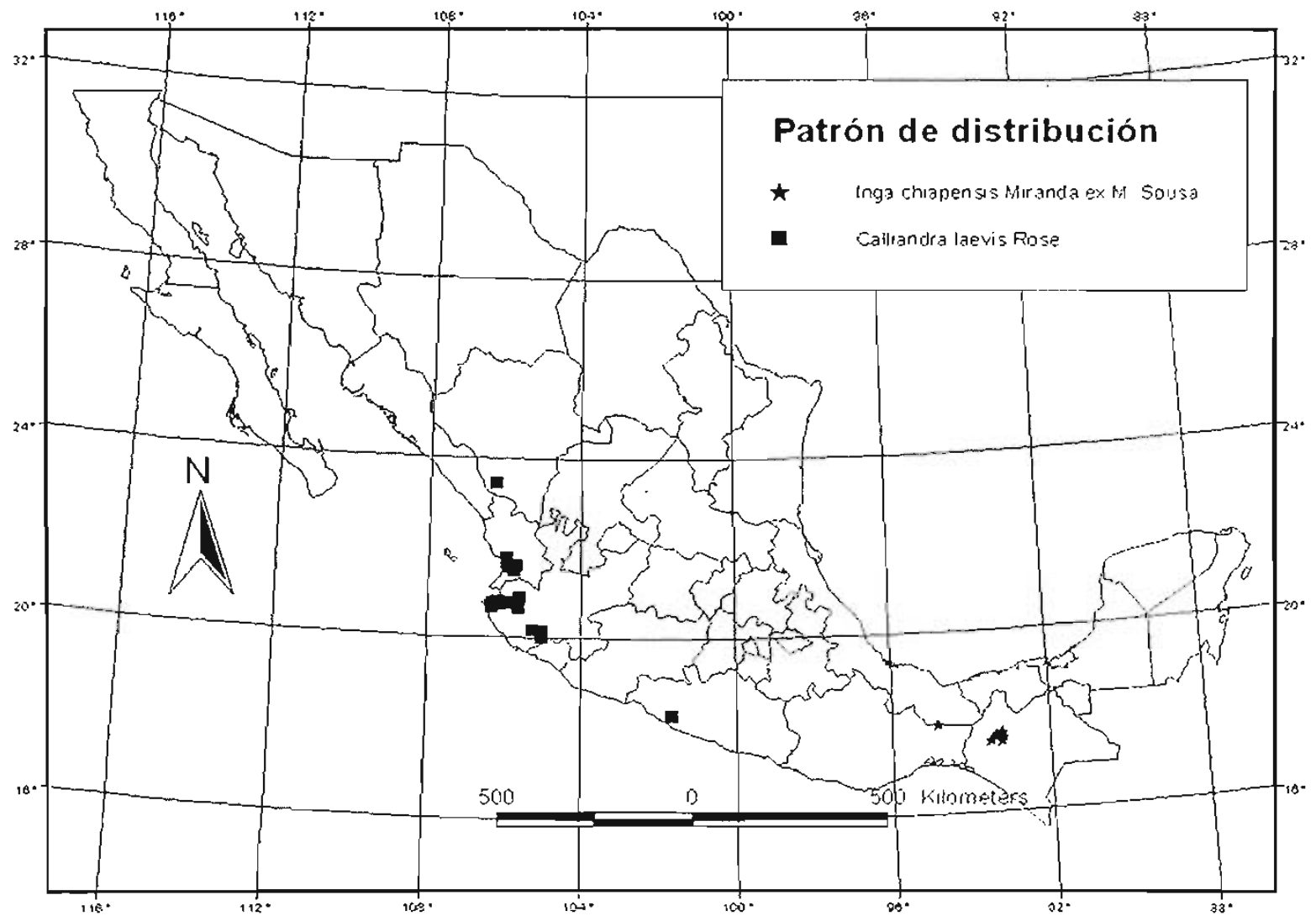
APENDICE: MAPA XIII



APENDICE: MAPA XIV

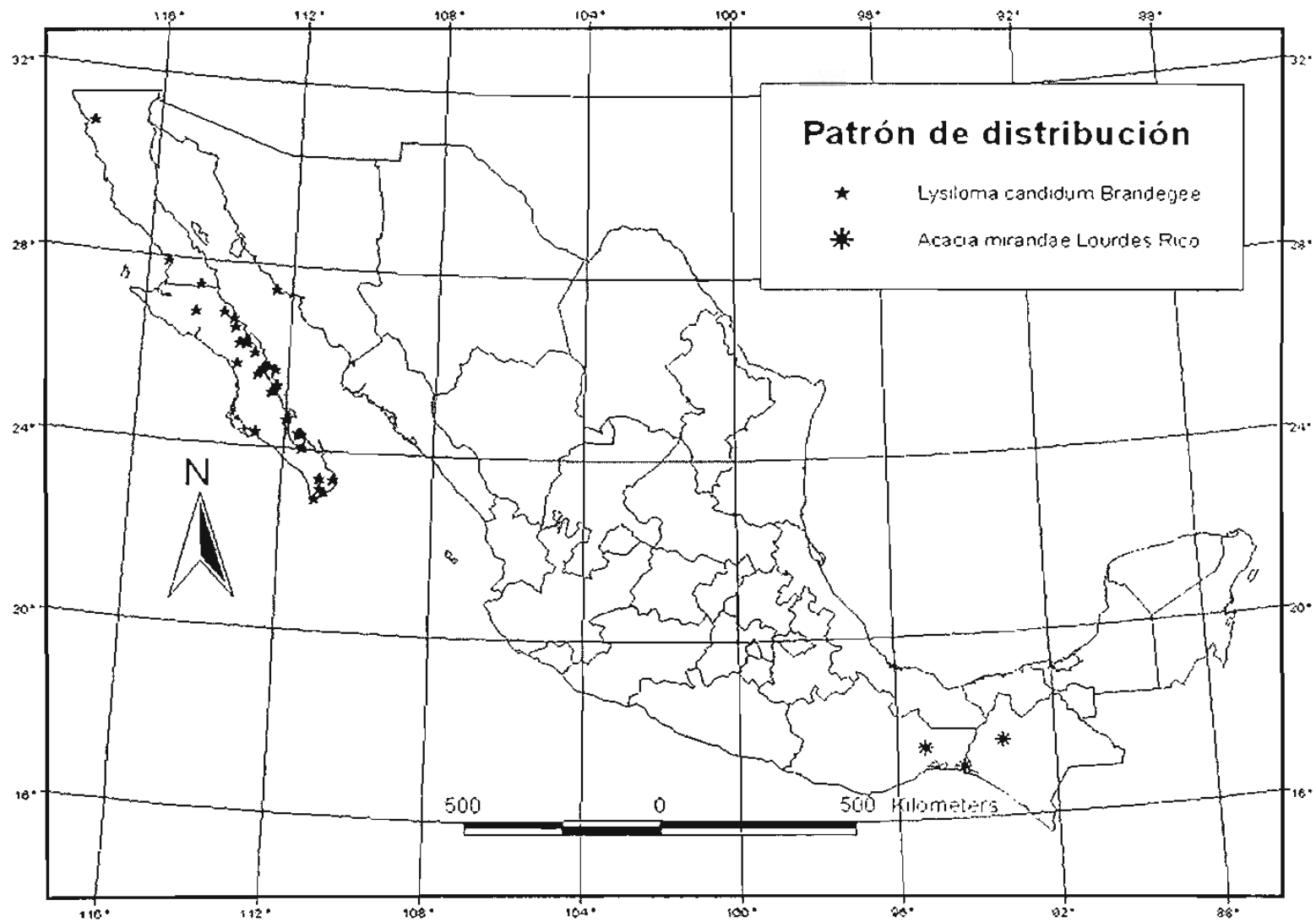


APENDICE: MAPA XV

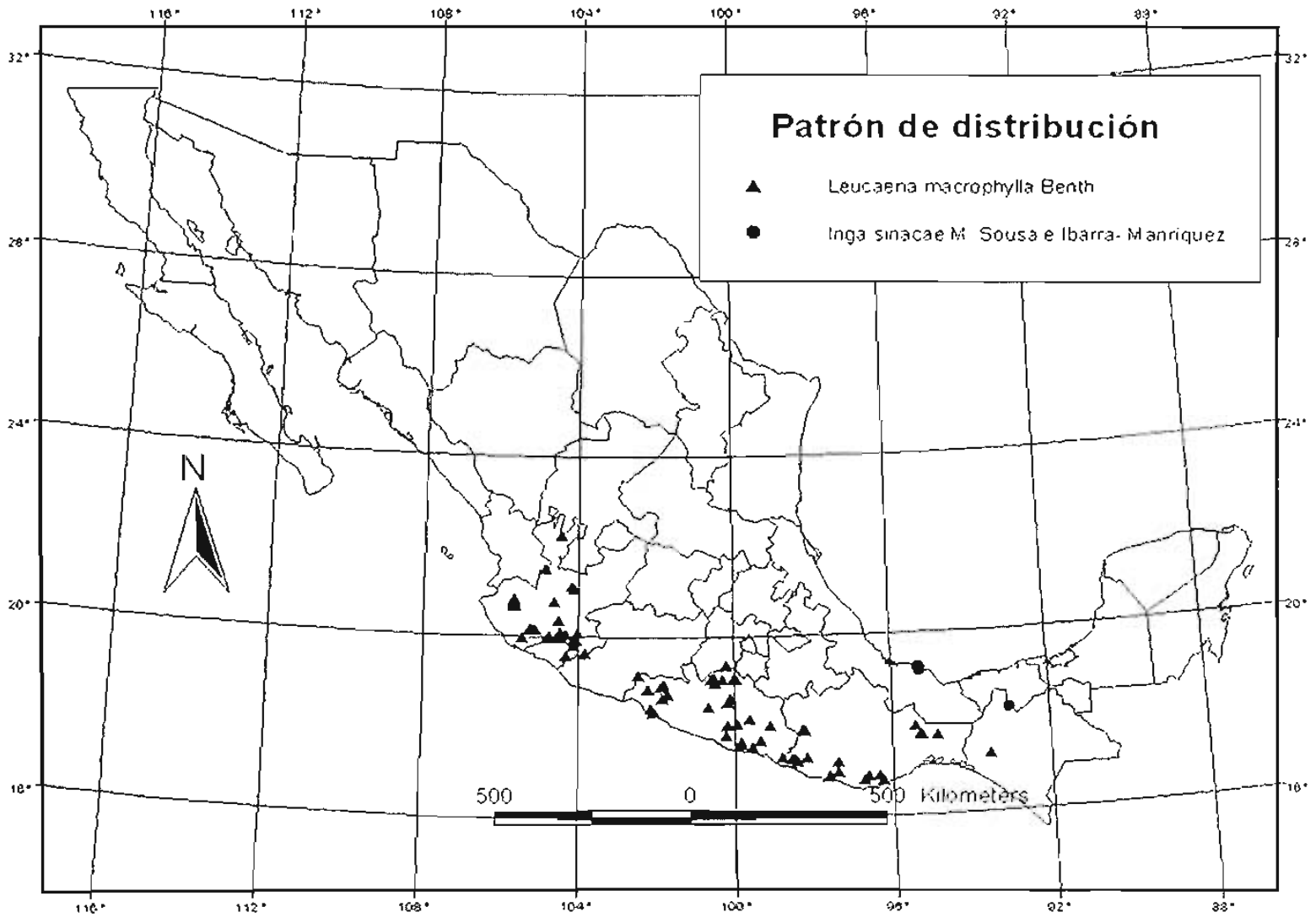


ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

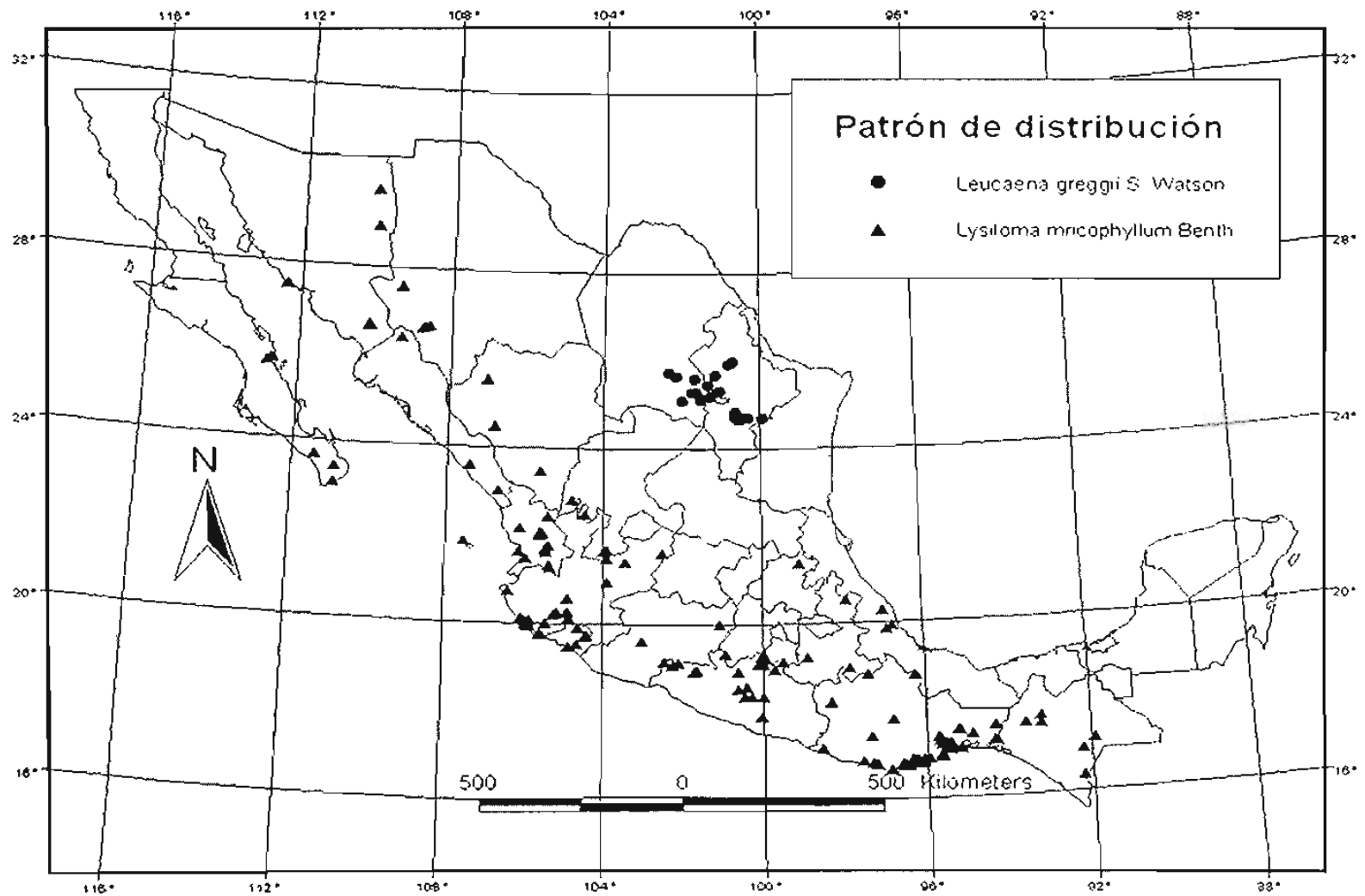
APENDICE: MAPA XVI



APENDICE: MAPA XVII

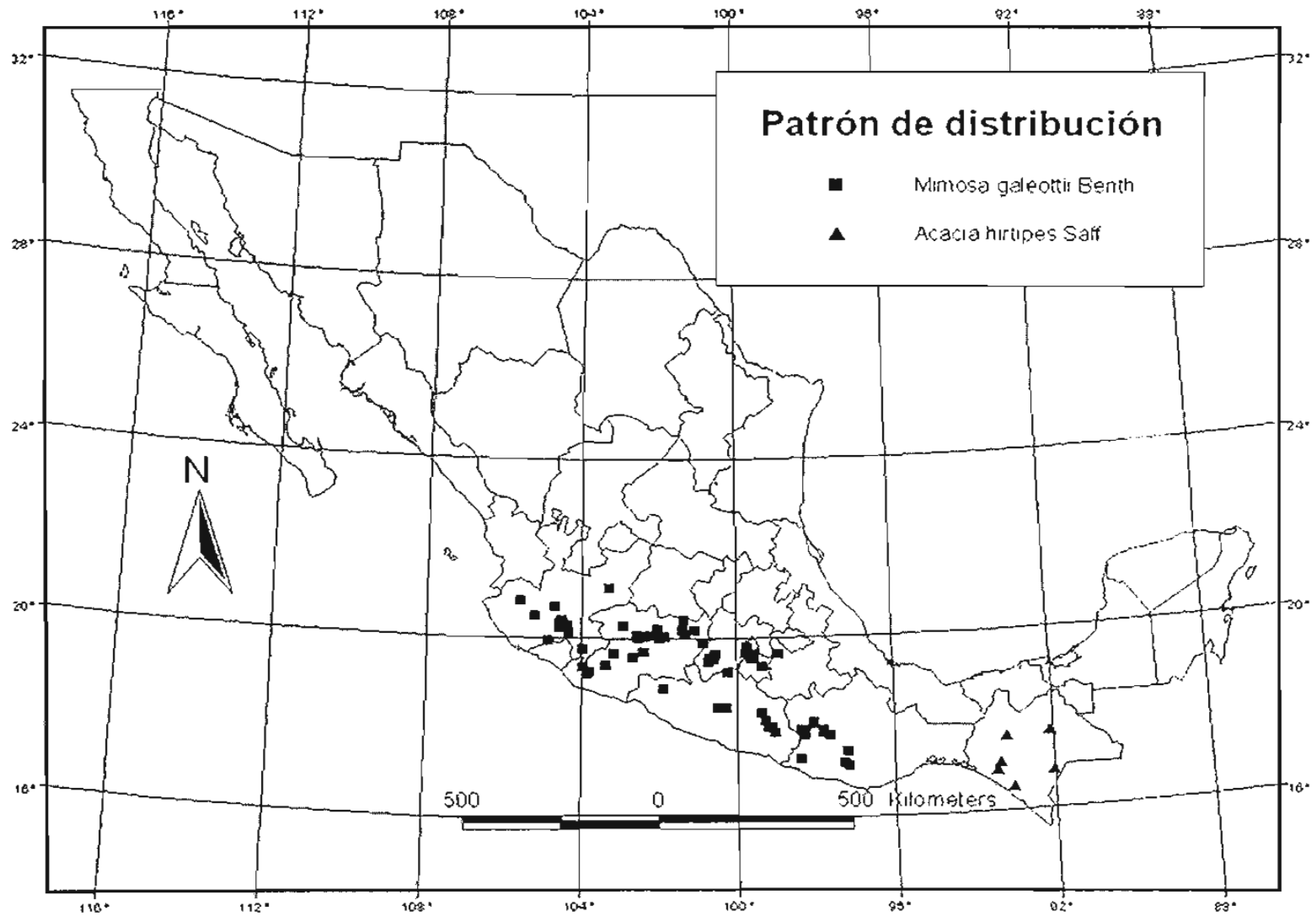


APENDICE: MAPA XVIII

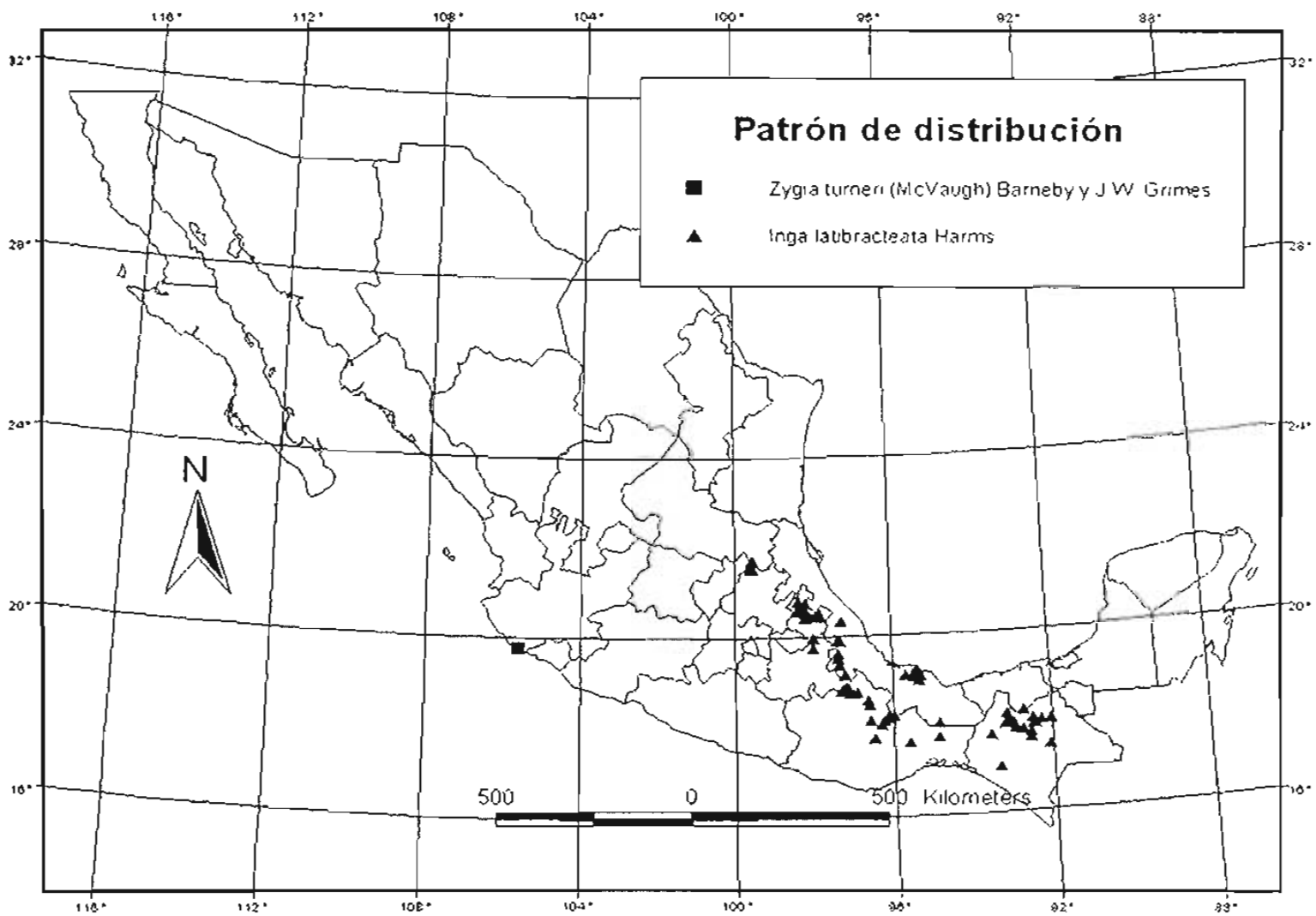


APENDICE: MAPA XIX





APENDICE: MAPA XX



APENDICE: MAPA XXI

## APENDICE II: PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

PROBLEMA: MINIMIZAR EL ÁREA QUE COMPREDEN 239 CUADROS DE UN GRADO POR LADO DISTRIBUIDOS EN TODO MÉXICO.

MINIMIZE

0.0302(PORPORCIÓN DE COBERTURA VEGETAL POR CUADRO) A1(NÚMERO DE CUADRO) + 0.0069 A1a + 0.4830 A2 + 0.1260 A3 + 0.0437 A4 + 0.2279 A5 + 0.0194 A6 + 0.2427 A7 + 0.6368 A8 + 0.5310 A9 + 0.5935 A10 + 0.5695 A11 + 0.7898 A12 + 0.6830 A13 + 0.7551 A14 + 0.4520 A15 + 0.1465 A16 + 0.1562 A17 + 0.1394 A18 + 0.2579 A19 + 0.3846 A20 + 0.3817 A21 + 0.4284 A22 + 0.4066 A23 + 0.7778 A24 + 0.5765 A25 + 0.7265 A26 + 0.7730 A27 + 0.6814 A28 + 0.2301 A29 + 0.1925 A30 + 0.4929 A31 + 0.9077 A32 + 0.8699 A33 + 0.4062 A34 + 0.3882 A35 + 0.0769 A36 + 0.0659 A37 + 0.0679 A38 + 0.3012 A39 + 0.5191 A40 + 0.4848 A41 + 0.4508 A42 + 0.5155 A43 + 0.6796 A44 + 0.7513 A45 + 0.3528 A46 + 0.0061 A47 + 0.4274 A48 + 0.8455 A49 + 0.8413 A50 + 0.5179 A51 + 0.0075 A52 + 0.1611 A53 + 0.3464 A54 + 0.2226 A55 + 0.2574 A56 + 0.5100 A57 + 0.4776 A58 + 0.5521 A59 + 0.6374 A60 + 0.5442 A61 + 0.0938 A62 + 0.0650 A63 + 0.6121 A64 + 0.5592 A65 + 0.5726 A66 + 0.3750 A67 + 0.0059 A68 + 0.0520 A69 + 0.4087 A70 + 0.4172 A71 + 0.2859 A72 + 0.2483 A73 + 0.2966 A74 + 0.4035 A75 + 0.6375 A76 + 0.3730 A77 + 0.0678 A77a+ 0.5303 A78 + 0.1676 A79 + 0.1445 A80 + 0.0345 A81 + 0.0911 A82 + 0.1314 A83 + 0.7162 A84 + 0.6842 A85 + 0.5825 A86 + 0.4743 A87 + 0.6982 A88 + 0.5410 A89 + 0.1383 A90 + 0.0200 A91 + 0.0354 A92 + 0.1142 A93 + 0.7208 A94 + 0.7665 A95 + 0.6433 A96 + 0.5276 A97 + 0.7641 A98 + 0.8840 A99 + 0.4964 A100+ 0.0014 A101+ 0.0181 A102+ 0.0050 A103+ 0.0585 A104+ 0.5951 A105+ 0.7925 A106+ 0.7212 A107+ 0.8499 A108+ 0.4772 A109+ 0.4808 A110+ 0.7298 A111+ 0.8659 A112+ 0.4098 A113+ 0.0010 A114+ 0.3868 A115+ 0.3545 A116+ 0.1277 A117+ 0.6092 A118+ 0.6858 A119+ 0.8655 A120+ 0.8987 A121+ 0.8931 A122+ 0.6045 A123+ 0.5698 A124+ 0.8173 A125+ 0.8943 A126+ 0.1984 A127+ 0.0169 A128+ 0.0197 A129+ 0.4542 A130+ 0.4247 A131+ 0.0181 A132+ 0.1601 A133+ 0.3031 A134+ 0.4486 A135+ 0.7032 A136+ 0.8072 A137+ 0.9234 A138+ 0.6599 A139+ 0.8333 A140+ 0.6002 A141+ 0.8908 A142+ 0.7939 A143+ 0.1455 A144+ 0.0455 A145+ 0.0481 A146+ 0.6462 A147+ 0.0233 A148+ 0.0580 A150+ 0.4595 A151+ 0.7792 A152+ 0.8940 A153+ 0.9880 A154+ 0.8334 A155+ 0.9401 A156+ 0.5886 A157+ 0.8458 A158+ 0.8720 A159+ 0.7030 A160+ 0.1942 A161+ 0.4251 A163+ 0.6869 A164+ 0.1373 A165+ 0.2279 A166+ 0.8153 A167+ 0.9107 A168+ 0.9864 A169+ 0.9810 A170+ 0.9080 A171+ 0.8042 A172+ 0.6688 A173+ 0.8877 A174+ 0.8402 A175+ 0.5815 A176+ 0.3545 A177+ 0.0093 A178+ 0.5827 A179+ 0.7529 A180+ 0.3725 A181+ 0.4340 A182+ 0.9838 A183+ 0.9873 A184+ 0.9785 A185+ 0.9413 A186+ 0.8076 A187+ 0.5994 A188+ 0.4795 A189+ 0.8553 A190+ 0.8771 A191+ 0.8344 A192+ 0.4449 A193+ 0.1534 A194+ 0.8148 A195+ 0.1706 A196+ 0.0326 A197+ 0.0462 A198+ 0.6325 A199+ 0.6722 A200+ 0.1254 A201+ 0.6661 A202+ 0.9830 A203+ 0.8339 A204+ 0.6370 A205+ 0.8485 A206+ 0.8186 A207+ 0.8701 A208+ 0.8535 A209+ 0.4608 A210+ 0.2531 A211+ 0.7684 A212+ 0.3069 A213+ 0.1297 A215+ 0.8641 A216+ 0.8246 A217+ 0.8437 A218+ 0.8948 A219+ 0.9094 A220+ 0.9347 A221+ 0.7899 A222+ 0.6547 A223+ 0.3304 A224+ 0.8653 A225+ 0.0244 A226+ 0.0740 A227+ 0.2928 A228+ 0.6407 A229+ 0.3699 A230+ 0.3131 A231+ 0.3012 A232+ 0.4206 A233+ 0.6585 A234+ 0.2539 A235+ 0.0977 A236+ 0.8741 A237+ 0.3834 A238+ 0.0788 A239+ 0.0890 A240+ 0.3653 A241+ 0.4259 A242

BAJO LAS SIGUIENTES RESTRICCIONES:

1) PATRON DE DISTRIBUCIÓN DE LAS 41 ESPECIES

2) UNA EXTENCIÓN TOTAL DE COBERTURA VEGETAL NO MAYOR AL 10% DE LA COBERTURA VEGETAL DEL CUADRO.

SUBJECT TO

1) Acacia brandegeana

0.3545 A116+ 0.4542 A130+ 0.4247 A131+ 0.0481 A146+ 0.6462 A147+ 0.4251 A163+ 0.6869 A164>= 0.1

!2) Acacia coulteri

0.0437 A4+ 0.2279 A5+ 0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.7551 A14+ 0.5765 A25+ 0.7265 A26+ 0.7730 A27+ 0.3012 A39+ 0.5191 A40+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.3464 A54+ 0.2574 A56+ 0.4776 A58+ 0.5521 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.4087 A70+ 0.4172 A71+ 0.3730 A77+ 0.1314 A83+ 0.7162 A84+ 0.6842 A85+ 0.6982 A88+ 0.0354 A92+ 0.1142 A93+ 0.7208 A94+ 0.0585 A104+ 0.5951 A105+ 0.7925 A106+ 0.4098 A113+ 0.6092 A118+ 0.6858 A119+ 0.5698 A124+ 0.8173 A125+ 0.1984 A127+ 0.4486 A135+ 0.7032 A136+ 0.8908 A142+ 0.7939 A143+ 0.1455 A144+ 0.0455 A145+ 0.8402 A175+ 0.5815 A176+ 0.8771 A191+ 0.8344 A192+ 0.8186 A207+ 0.8703 A208>= 0.1

!3) Acacia hirtipes

0.4830 A2+ 0.1260 A3+ 0.5310 A9+ 0.5935 A10>= 0.1

!4) *Acacia interior*

0.4743 A87+ 0.6982 A88+ 0.7212 A107+ 0.7298 A111>= 0.1

!5) *Acacia macilentia*

0.0437 A4+ 0.0194 A6+ 0.5310 A9+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.7265 A26+ 0.5191 A40+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.4776 A58+ 0.5521 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.2966 A74+ 0.4035 A75+ 0.6375 A76+ 0.5410 A89>= 0.1

!6) *Acacia mirandae*

0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12>= 0.1

!7) *Acacia pringlei*

0.0194 A6+ 0.5310 A9+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.7778 A24+ 0.3012 A39+ 0.5191 A40+ 0.1611 A53+ 0.5521 A59+ 0.6121 A64+ 0.5726 A66+ 0.0678 A77a+ 0.1676 A79+ 0.1445 A80+ 0.1314 A83+ 0.0354 A92+ 0.1142 A93+ 0.3868 A115+ 0.8701 A208+ 0.8535 A209>= 0.1

!8) *Acacia willardiana*

0.0455 A145+ 0.1942 A161+ 0.3545 A177+ 0.0093 A178+ 0.8344 A192+ 0.4449 A193+ 0.8701 A208>= 0.1

!9) *Acaciella submontana*

0.1383 A90+ 0.4964 A100>= 0.1

!10) *Albizia occidentalis*

0.0437 A4+ 0.2279 A5+ 0.0194 A6+ 0.7898 A12+ 0.5765 A25+ 0.2301 A29+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.3528 A46+ 0.0061 A47+ 0.5524 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.0938 A62+ 0.4172 A71+ 0.2859 A72+ 0.2483 A73+ 0.3730 A77+ 0.6982 A88+ 0.1383 A90+ 0.0200 A91+ 0.4964 A100+ 0.4098 A113+ 0.3868 A115+ 0.3545 A116+ 0.8943 A126+ 0.1984 A127+ 0.7939 A143+ 0.7774 A147>= 0.1

!11) *Albizia sinaloënsis*

0.0455 A145+ 0.7030 A160+ 0.1942 A161+ 0.8402 A175+ 0.5815 A176+ 0.8771 A191+ 0.8535 A209>= 0.1

!12) *Calliandra laevis*

0.2301 A29+ 0.5442 A61+ 0.6375 A76+ 0.3730 A77+ 0.5410 A89+ 0.1383 A90+ 0.8665 A112>= 0.1

!13) *Cojoba mariaelenae*

0.5695 A11>= 0.1

!14) *Havardia mexicana*

0.3868 A115+ 0.3545 A116+ 0.1948 A127+ 0.1455 A144+ 0.1942 A161+ 0.5815 A176+ 0.8771 A191+ 0.8485 A206>= 0.1

!15) *Inga calcicola*

0.7778 A24+ 0.3012 A39>= 0.1

!16) *Inga chiapensis*

0.5935 A10+ 0.4284 A22>= 0.1

!17) *Inga eriocarpa*

0.2279 A5+ 0.7551 A14+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.6375 A76+ 0.3730 A77+ 0.5410 A89+ 0.1383 A90+ 0.7939 A143>= 0.1

!18) *Inga huastecana*

0.0520 A69+ 0.4087 A70+ 0.7162 A84>= 0.1

!19) *Inga ismaelis*

0.4284 A22+ 0.3012 A39>= 0.1

!20) *Inga latibracteata*

0.5310 A9+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.3846 A20+ 0.3817 A21+ 0.4284 A22+ 0.4066 A23+ 0.7778 A24+ 0.0679 A38+ 0.3012 A39+ 0.5191 A40+ 0.1611 A53+ 0.3464 A54+ 0.0520 A69+ 0.7162 A84>= 0.1

!21) *Inga sinacae*  
0.3846 A20+ 0.1314 A83>= 0.1

!22) *Leucaena esculenta*  
0.2279 A5+ 0.0194 A6+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.7551 A14+ 0.4160 A23+ 0.7778 A24+ 0.5765 A25+ 0.7265 A26+ 0.7730 A27+ 0.3012 A39+ 0.5191 A40+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.1611 A53+ 0.2226 A55+ 0.2574 A56+ 0.5100 A57+ 0.5521 A59+ 0.0520 A69+ 0.6982 A88+ 0.0200 A91>= 0.1

!23) *Leucaena greggii*  
0.2529 A19+ 0.3846 A20+ 0.0769 A36+ 0.0659 A37+ 0.7792 A152>= 0.1

!24) *Leucaena macrophylla*  
0.2279 A5+ 0.0194 A6+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.7551 A14+ 0.4220 A15+ 0.1465 A16+ 0.4066 A23+ 0.5765 A25+ 0.7265 A26+ 0.7730 A27+ 0.6814 A28+ 0.2301 A29+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6796 A44+ 0.3528 A46+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.4035 A75+ 0.6375 A76+ 0.6982 A88+ 0.5410 A89>= 0.1

!25) *Lysiloma candidum*  
0.0181 A102+ 0.3668 A115+ 0.4542 A130+ 0.4247 A131+ 0.6462 A147+ 0.4251 A163+ 0.6869 A164+ 0.5827 A179+ 0.8384 A192+ 0.1534 A194+ 0.8148 A195+ 0.3834 A238>= 0.1

!26) *Lysiloma microphyllum*  
0.4830 A2+ 0.0437 A4+ 0.2279 A5+ 0.0194 A6+ 0.6368 A8+ 0.5310 A9+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.7551 A14+ 0.4520 A15+ 0.7778 A24+ 0.5765 A25+ 0.7730 A27+ 0.6814 A28+ 0.0679 A38+ 0.5191 A40+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6796 A44+ 0.3528 A46+ 0.0061 A47+ 0.1611 A53+ 0.5100 A57+ 0.5521 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.0938 A62+ 0.0520 A69+ 0.4087 A70+ 0.4035 A75+ 0.6375 A76+ 0.3730 A77+ 0.5825 A86+ 0.4743 A87+ 0.6982 A88+ 0.5410 A89+ 0.1383 A90+ 0.0200 A91+ 0.7641 A98+ 0.8840 A99+ 0.4964 A100+ 0.7298 A111+ 0.4098 A113+ 0.3868 A115+ 0.3545 A116+ 0.8173 A125+ 0.8908 A142+ 0.7030 A160+ 0.4251 A163+ 0.8877 A174+ 0.5815 A176+ 0.8553 A190+ 0.8344 A192+ 0.8485 A206+ 0.9094 A220>= 0.1

!27) *Mimosa galeottii*  
0.6830 A13+ 0.7551 A14+ 0.5765 A25+ 0.7265 A26+ 0.7730 A27+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.5155 A43+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.3528 A46+ 0.2242 A55+ 0.2574 A56+ 0.5100 A57+ 0.4776 A58+ 0.5521 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.2966 A74+ 0.4035 A75+ 0.6375 A76>= 0.1

!28) *Zygia turneri*  
0.5442 A61>= 0.1

!29) *Caesalpinia hughesii*  
0.2279 A5+ 0.0437 A6+ 0.4520 A15+ 0.5765 A25+ 0.5191 A40+ 0.5442 A61>= 0.1

!30) *Caesalpinia macvaughii*  
0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.5100 A57+ 0.5521 A59>= 0.1

!31) *Caesalpinia sclerocarpa*  
0.0437 A4+ 0.2279 A5+ 0.0194 A6+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.6814 A28+ 0.2301 A29+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.3528 A46+ 0.5442 A61+ 0.0938 A62+ 0.3730 A77+ 0.1383 A90+ 0.7925 A106+ 0.4098 A113+ 0.8943 A126+ 0.1984 A127+ 0.1942 A161>= 0.1

!32) *Caesalpinia platyloba*  
0.6830 A13+ 0.1465 A16+ 0.7778 A24+ 0.2301 A29+ 0.5191 A40+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45+ 0.3528 A46+ 0.0061 A47+ 0.5100 A57+ 0.5521 A59+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.0938 A62+ 0.5410 A89+ 0.8840 A99+ 0.4098 A113+ 0.1984 A127+ 0.7939 A143+ 0.1455 A144+ 0.7030 A160+ 0.8877 A174+ 0.8402 A175+ 0.5815 A176>= 0.1

!33) *Cassia hintoni*

0.5155 A43+ 0.7513 A45+ 0.3528 A46+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.0938 A62>= 0.1

!34) Conzattia chiapensis  
0.5935 A10>= 0.1

!35) Conzattia multiflora  
0.7898 A12+ 0.6830 A13+ 0.7551 A14+ 0.4520 A15+ 0.7778 A24+ 0.5765 A25+ 0.7265 A26+ 0.7730 A27+ 0.6814 A28+  
0.5191 A40+ 0.4848 A41+ 0.4508 A42+ 0.5100 A57+ 0.6374 A60+ 0.5442 A61+ 0.2483 A73+ 0.2966 A74+ 0.7641 A98+  
0.8840 A99+ 0.3868 A115>= 0.1

!36) Conzattia serisea  
0.5442 A61+ 0.0938 A62+ 0.4098 A113+ 0.1984 A127+ 0.8402 A175+ 0.8553 A190>= 0.1

!37) Cynometra oaAacana  
0.0302 A1+ 0.5935 A10+ 0.5695 A11+ 0.7898 A12+ 0.1475 A16+ 0.6814 A28+ 0.2301 A29+ 0.8699 A33+ 0.0659 A37 0.5442  
A61+ 0.0938 A62+ 0.3730 A77>= 0.1

!38) Heteroflorum sclerocarpum  
0.0437 A4+ 0.2279 A5+ 0.7551 A14+ 0.2301 A29+ 0.6796 A44+ 0.7513 A45>= 0.1

!39) Senna multifoliolata  
0.6830 A13+ 0.7551 A14+ 0.6814 A28+ 0.6796 A44+ 0.3528 A46+ 0.5442 A61>= 0.1

!40) Senna sousana  
0.0194 A6+ 0.6830 A13+ 0.7551 A14>= 0.1

!41) Tachigali sp.  
0.7778 A24>= 0.1

---

### 3) OBTENER COEFICIENTES MAXIMIZADOS AL 100 % (= 1)

!THE A# ARE PROPORTIONS, AND CANNOT BE LARGER THAN 1!

A1 (NÚMERO DE CUÁDRO) <= 1 (RESTRICCIÓN DEL 100 %), A1a <= 1, A2 <= 1, A3 <= 1, A4 <= 1, A5 <= 1, A6 <= 1, A7  
<= 1, A8 <= 1, A9 <= 1, A10 <= 1, A11 <= 1, A12 <= 1, A13 <= 1, A14 <= 1, A15 <= 1, A16 <= 1, A17 <= 1, A18 <= 1, A19 <= 1,  
A20 <= 1 ... A242 <= 1