

208



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVERSIDAD DEL GENERO Agave EN MEXICO:  
UNA SINTESIS PARA SU CONSERVACION

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G A**

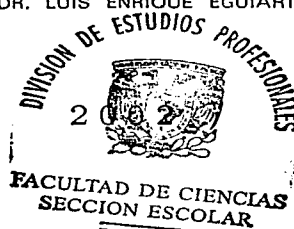
P R E S E N T A :

**MARCIA ISABEL TAMBUTTI ALLENDE**



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS ENRIQUE EGUIARTE FRUNS





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA**  
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"DIVERSIDAD DEL GENERO AGAVE EN MEXICO: UNA SINTESIS PARA SU CONSERVACION"

realizado por **MARCIA ISABEL TAMBUTTI ALLENDE**

con número de cuenta **9367967-5**, quién cubrió los créditos de la carrera de **BIOLOGIA**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis	<b>DR. LUIS ENRIQUE EGUIARTE FRUNS</b>	
Propietario	<b>BIOL. JOSE ARTURO SILVA MONTELLANO</b>	
Propietario	<b>DR. ABISAI GARCIA MENDOZA</b>	
Propietario	<b>DR. HECTOR TAKESHI ARITA WATANABE</b>	
Suplente	<b>BIOL. JORDAN KYRIL GOLUBOV FIGUEROA</b>	

FACULTAD DE CIENCIAS  
U. N. A. M.

Consejo Departamental de **BIOLOGIA**

DRA. PATRICIA RAMOS MORALES



DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

## Índice

<b>a</b> gradecimientos	i
<b>r</b> esumen	ii
<b>p</b> resentación	iii
<b>p</b> equña <b>n</b> ota <b>a</b> claratoria	iv
<b>f</b> igura <b>i</b> ( <b>e</b> structura <b>d</b> e la <b>t</b> esis)	v
<b>i</b> ntroducción	
<b>m</b> arco <b>t</b> eórico	1
<b>j</b> ustificación	4
<b>a</b> ntecedentes	7
<b>¿</b> qué y <b>C</b> ómo <b>C</b> onservar?	10
<b>O</b> bjetivos	11
<b>m</b> ateriales y <b>m</b> étodos	12
<b>r</b> esultados	19
<b>d</b> iscusión	35
<b>C</b> onclusiones	45
<b>l</b> iteratura <b>C</b> itada	46
<b>a</b> péndices	54

## agradecimientos

*Cantad alto. Oiréis que oyen otros oídos.  
Mirad alto. Veréis que miran otros ojos.  
Latid alto. Sabréis que palpita otra sangre.  
Rafael Alberti*

De la manera más honesta confieso que me es imposible enumerar a todas las personas que me ayudaron a hacer y terminar este trabajo, en primer lugar porque me he tardado bastante, en segundo, porque sin duda son muchas, y en tercero, porque no me gustaría que por distracción (una de mis características más destacadas, corroborada por la pequeña nota aclaratoria) se me quedaran algunas fuera de esta hoja.

Sin embargo, la verdad estoy muy agradecida y feliz de haber contado con el apoyo incondicional de muchos seres queridos. Como diría *Ocaterinetabelachitchix* a *Obélix*: "*a mis brazos*".

Gracias nuevamente.

El género *Agave* tiene gran relevancia en México debido a su amplia distribución, su gran cantidad de endemismos, su importancia ecológica y su gran variedad de usos; sin embargo, gran parte del género es pobremente conocido y está escasamente representado en áreas protegidas. Partiendo de la base de que los recursos destinados al rubro de la conservación son exiguos, surge la duda ¿qué y cómo conservar?. El presente estudio se planteó como objetivo determinar las áreas de mayor diversidad para este género en México y establecer un orden de prioridades de áreas claves para la efectiva conservación de agaves silvestres. Para ello se analizaron los patrones espaciales de cinco parámetros clásicos y alternativos de diversidad: riqueza, rareza, diversidad filogenética, diversidad de grupos taxonómicos y patrones biogeográficos empleando una cuadrícula de un grado de latitud por uno de longitud. A partir de su síntesis y de la consideración de otros aspectos relevantes para la conservación (*e.g.*, presencia de especies catalogadas en riesgo) se determinaron 8 áreas consenso que contienen 53 especies de las 115 estudiadas (48%). Estas son: O20, N17, Q22, Q24, H17, P20, N14 y F9, ubicadas principalmente en la parte oriental, centro y sur de la República: Puebla-Oaxaca, Estado de México, Oaxaca, Chiapas, Nuevo León-Coahuila, Oaxaca, Jalisco y Sonora-Chihuahua, respectivamente. La región más sobresaliente fue O20 correspondiente a una parte de Tehuacán-Cuicatlán con el mayor grado de diversidad alcanzado para los cinco patrones analizados, mientras que las demás áreas seleccionadas presentaron relevancia para menor número de ellos. Se concluye que la selección de las áreas a proteger refleja mejor los procesos que determinan la biodiversidad si se combinan aspectos cualitativos y cuantitativos y se integra el mayor número de criterios posibles. Asimismo, se entiende la necesidad de llevar a cabo estudios interdisciplinarios a menor escala en las áreas consenso para evaluar la viabilidad de establecer áreas naturales protegidas (o reforzarlas, en su caso), así como de impulsar la conservación del género *Agave* en México con otros métodos complementarios que contemplen el desarrollo rural sustentable.

## presentación

*Aquí hay una miga de pan*  
*Otto Raúl González*

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Instituto de Ecología de la UNAM, dentro del proyecto de CONACYT 27983-N.

Esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo de sus codirectores Luis Eguiarte y Arturo Silva y sinodales Abisaf García Mendoza, Héctor Arita y Jordan Golubov, a quienes estoy muy agradecida. A su vez, aprovecho para agradecer el apoyo brindado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) en la respuesta a mis consultas.

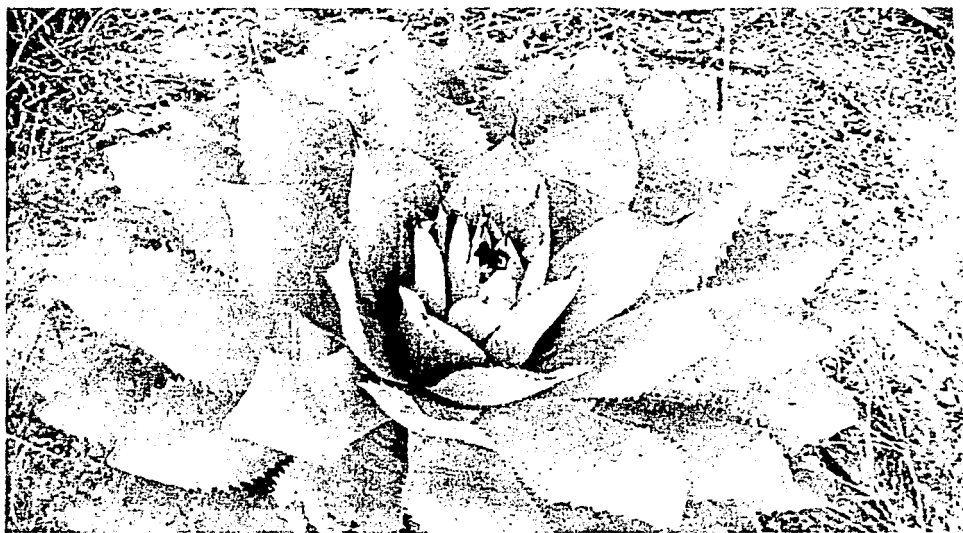
Este trabajo pretende ser un puente que permita orientar aspectos teóricos y prácticos para la conservación de los agaves en la república mexicana. De modo general, la estructura del presente estudio se explica en la figura i.

**pequeña nota aclaratoria**

*El que escribe al último  
Escribe mejor*

*Yo apenas empiezo  
Efraín Huerta*

Esta tesis se debió haber llamado "Patrones de diversidad del género *Agave* en México: una síntesis para su conservación", pero el subconsciente tiene extraños vericuetos y al registrar el título no me percaté que había excluido a las dos primeras palabras. Dejo constancia del deseo de mi consciente con respecto al título original.





# Diversidad del género *Agave* en México: una propuesta de síntesis para su conservación

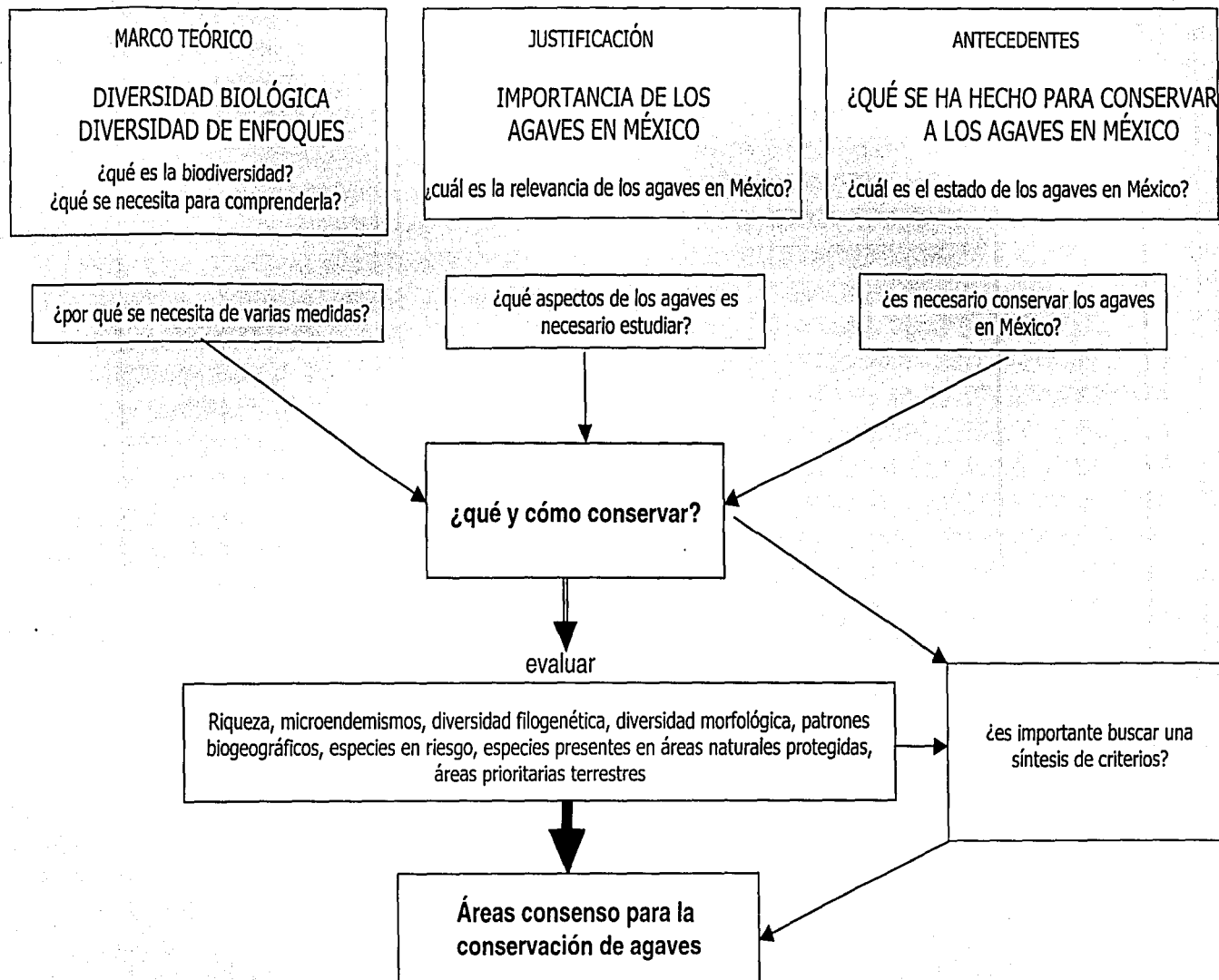


Figura i. Estructura de la tesis

## **marco teórico: diversidad biológica, diversidad de enfoques**

*Resulta paradójico que los índices convencionales para medir la diversidad consideren a todas las especies como iguales cuando justamente su identificación se basa en las diferencias de una a otra*  
S. H. Cousins

La noción general acerca de la biodiversidad o diversidad biológica corresponde a "la variedad de seres vivos que hay en la Tierra", lo cual no está errado, pero sí tan condensado que resulta limitado. La palabra diversidad es tan usada por los biólogos que raramente se siente la necesidad de detenerse para considerar las complejidades subyacentes que el concepto denota (Tattersall, 1992). Aunque ciertos rasgos de las ideas de diversidad biológica se pueden rastrear desde Aristóteles, el aumento de atención a este tópico se ha desarrollado en las últimas décadas, debido principalmente a la toma de conciencia social de la pérdida de la riqueza biológica mundial (Toledo, 1994; Wilson, 1997).

Las formas convencionales de medir y entender la diversidad biológica en la ciencia han consistido en la presencia de especies (riqueza), su abundancia relativa o equitatividad y la mezcla de las dos, como lo ejemplifican los índices de diversidad de Shannon y Simpson (Begon *et al.*, 1987; Magurran, 1988). La más utilizada -y quizás por ello considerada como la más importante- es la riqueza (Humphries *et al.*, 1995). La riqueza de especies que consiste en la suma de las especies que habitan un determinado sitio otorga información indirecta acerca del número de interacciones que se dan en el lugar de estudio y, por lo tanto, de la posible complejidad del sistema (Ramade, 1981; Erwin, 1991). Sin embargo, confiere un estatus de igualdad a todas las especies, lo cual no permite establecer estrategias óptimas de conservación ya que, debido a la magnitud de la actual problemática ambiental, es inminente establecer prioridades de la manera más eficiente posible (Cousins, 1991; Ganeshiah y Shaanker, 2000).

Aunque parezca a primera vista intuitiva, la correcta construcción del concepto de biodiversidad no es sencilla, debido a que implica la integración de múltiples aspectos. De manera general, el pensamiento empírico encierra obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1948) y en el caso de la biodiversidad lo normal es que al tratar de definirla se listen o adicionen los elementos que la componen, en lugar de interrelacionarlos. Desafortunadamente la mayoría de las definiciones de biodiversidad fallan en mencionar procesos, cuando deberían de reconocer al menos los siguientes atributos: composición, estructura y función (Noss, 1990) y establecerse en forma de redes o mapas conceptuales.

El creciente interés de la sociedad por los cambios mundiales y la crisis ecológica patente hace ya varios años, ha aumentado la participación de diferentes sectores en la búsqueda de soluciones a la problemática ambiental, por lo que han ocurrido cambios en la epistemología del conocimiento de la biodiversidad. Se ha progresado en las aproximaciones holísticas, integrando el conocimiento en lugar de subdivirlo y se han incluido muchos campos, haciendo de la biodiversidad y de la biología de la conservación áreas muy eclécticas (Raven, 1992; Toledo, 1994; Wilson, 1997). A raíz de ello, no existe una manera integral de medir la biodiversidad, aunque se han dado importantes avances en esa dirección (Ganeshiah y Shaanker, 2000).

## **algunas medidas alternativas de la biodiversidad**

La mayoría de los índices convencionales de biodiversidad no toman en cuenta los procesos que la determinan y la mantienen (Pielou, 1975), pero en diferentes campos se han desarrollado índices que contemplan estos procesos no sólo sumando cualidades (como la abundancia) sino diferenciando las especies en cierto orden y clasificándolas en distintas jerarquías (Cousins, 1991; Humphries *et al.*, 1995 y las citas que contienen). Hoy día se entiende que es importante estudiar la biodiversidad no sólo en términos cuantitativos, sino también en términos cualitativos (Simonetti *et al.*, 1992). Los enfoques alternativos se han desarrollado tratando de reflejar los procesos que sustentan la organización de la biodiversidad, con especial atención a sus patrones espaciales para optimizar el entendimiento y la conservación de sus funciones emergentes y sus atributos. A continuación se explican brevemente algunos parámetros alternativos para medir la diversidad.

### **Enfoque ecológico**

Este enfoque trata de la estructura y el funcionamiento del sistema, medido en atributos que poseen los organismos en relación a su medio o en términos de transferencia de energía. Por ejemplo, en animales se han medido dietas o la estructura trófica de ciertos ensambles de especies, el tamaño medido en masas corporales (ver Cousins, 1991; Figueroa, 1995), historias de vida, etcétera. En plantas se han medido las formas de vida, también relacionadas con su tamaño y con el tipo de hábitat que ocupan (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995; Mourelle y Ezcurra, 1996, 1997).

### **Enfoque taxonómico**

Los organismos representan diferentes combinaciones de nuevas y compartidas agregaciones de sistemas genéticos; esta jerarquía histórica de la vida se refleja en la jerarquía taxonómica, desde los reinos hasta las unidades infraespecíficas (Humphries *et al.*, 1995). En la práctica, la única fuente de información de atributos o cualidades de los organismos es la jerarquía taxonómica comúnmente basada en su morfología (para la mayoría de ellos, excepto procariontes y protistas) (Williams *et al.*, 1994). En términos de la conservación de la diversidad taxonómica, si tenemos dos áreas, una que agrupa muchas especies pertenecientes a un mismo género y otra con menor número de especies, pero de géneros y familias distintas, la segunda es considerada más diversa y más valiosa.

### **Enfoque filogenético**

La filogenia resume el grado de divergencia entre diferentes grupos de organismos y puede ser usada en todos los rangos de la jerarquía biológica (Eguiarte *et al.*, 1997, 1999). Estos análisis producen (en el caso del cladismo) hipótesis acerca de las relaciones de parentesco que pueden reflejar la historia evolutiva de los taxones en cuestión (Erwin, 1991; Mishler, 1995; Eguiarte *et al.*, 1997). Existen diversos índices o aproximaciones basadas en este tipo de reconstrucciones (gráficamente en la topología del árbol o cladograma usado) que proponen básicamente que un sitio de alta diversidad filogenética será aquel que contenga los taxones menos emparentados entre sí (May, 1990; Mishler, 1995; Humphries *et al.*, 1995), ya que ésto representa historias evolutivas y atributos de los taxones que son muy

diferentes entre sí (Faith, 1992, 1994) y distingue con un valor diferente a los taxones basales o ancestrales del resto (May, 1990; Vane-Wright *et al.*, 1991).

### **enfoque biogeográfico**

La biogeografía se ocupa de la distribución de los organismos tanto en el espacio como en el tiempo (Espinosa y Llorente, 1993), por lo que tradicionalmente se le asocia más a la búsqueda de procesos que expliquen la biodiversidad en lugar de medirla. El estudio de la distribución de las especies se lleva a cabo con base en diversos paradigmas y metodologías que contemplan desde los factores históricos, hasta los actuales; desde ecología hasta filogenia y con una gran variabilidad de escalas (Kohlman y Sánchez, 1984; Rosen, 1988; Zarco, 1999; Arita y Rodríguez, 2001).

Platnick ha postulado (1992) que el asunto de la conservación es esencialmente biogeográfico en el sentido amplio de la palabra, dado que su objetivo es encontrar las áreas o regiones que se deben conservar. Sin embargo, merece mención aparte por ser un eje central en múltiples estudios.

### **Enfoque Conservacionista**

La preocupación por conservar fracciones de lo que queda de naturaleza en estado prístino, que al menos mantenga en buen estado sus características ecológicas funcionales o una alta proporción de biodiversidad, ha llevado a integrar los diversos enfoques de la diversidad biológica a unidades concretas: las regiones a conservar (Pressey *et al.*, 1993; Olson y Dinerstein, 1998; Mittermeier *et al.*, 1998). Este ha sido un paso importante, ya que desde la óptica conservacionista, el establecer áreas protegidas, silvestres o naturales, es fundamental para asegurar que al menos en ciertas regiones la evolución continúe con la mínima intervención humana. Es destacable que en México la mayoría de las áreas naturales protegidas (ANP) cuenta con poblaciones locales humanas, lo que ha llevado a buscar que en una parte importante de las ANP se apliquen esquemas de manejo sustentable (en zonas de influencia y amortiguamiento). Empero, es evidente que no es posible conservarlo todo y que los recursos son limitados, por lo que un objetivo primordial es jerarquizar las áreas naturales, estableciendo áreas prioritarias para la conservación (citadas anteriores y May, 1990; Vane-Wright *et al.*, 1991; Arita, 1993; Humphries *et al.*, 1995; Villaseñor *et al.*, 1998; Arriaga *et al.*, 2000). Para lograrlo del modo más eficiente, se ha propuesto usar como principio la *complementariedad* de las áreas a proteger en función de minimizar el número de especies que ya se encuentren protegidas y buscar sitios de alta diversidad de especies y endemismos que aseguren la representación de especies aún no protegidas en la creación de nuevas reservas (Pressey *et al.*, 1993).

recuadro 1. Especies pertenecientes a los grupos taxonómicos del género *Agave*

Subgénero *Littaea*

**Amolae (8)**

*attenuata* ♣  
*bakeri* ▼  
*chrysoglossa* ♣  
*nizandensis* ♣  
*ocahui* ♣  
*pedunculifera* ♣  
*vilmoriana* ♣  
*yuccaefolia* ▼

**Choritepalae (3)**

*bracteosa*  
*ellemetiana*  
*guiengola*

**Filiferae (7)**

*colimana* ♣  
*felgeri* ♣  
*filifera* ♣  
*geminiflora* ♣  
*multifilifera* ♣  
*ornithobroma* ♣  
*schidigera* ♣

**Parviflorae (4)**

*parviflora*  
*polianthiflora*  
*schottii*  
*toumeyana* \*

**Polycephalae (6)**

*celsii* ♣  
*chiapensis*  
*pendula* ♣  
*obscura* ♣  
*warelliana*  
*wendtii* ♣

**Striatae (5)**

*dasylioriodes* ♣  
*petrophila* ♣  
*striata* ♣  
*stricta* ♣  
*tenuifolia* ♣

**Urceolatae (2)**

*arizonica* \*  
*uthaensis* \*

**Marginatae (30)**

*albomarginata*  
*angustiarum* ♣  
*difformis* ♣  
*ensifera* ▼  
*funkiana* ♣  
*ghiesbreghtii*  
*glomeruliflora* ♣  
*horrida* ♣  
*impressa* ♣  
*kerchovei* ♣

**Marginanatae**

*lechugilla*  
*lophanta*  
*peacockii* ♣  
*pelona* ♣  
*potrerana* ♣  
*pumila* ▼  
*titanota* ♣  
*triangularis* ♣  
*victoriae-reginae* ♣  
*xylonacantha* ♣  
*sp. nov. 1* ♣  
*sp. nov. 2* ♣

Subgénero *Agave*

**Americanae (6)**

*americana*  
*asperrima*  
*franzosini* ▼  
*lurida* ♣  
*oroensis* ♣  
*scaposa* ♣

**Campaniflorae (3)**

*aurea* ♣  
*capensis* ♣  
*promontori* ♣

**Crenatae (7)**

*bovicornuta* ♣  
*calodonta* ▼  
*cupreata* ♣  
*hookeri* ♣  
*inaequidens* ♣  
*jaiboli* ♣  
*maximiliana* ♣

**Deserticolae (10)**

*avellanidens* ♣  
*cerulata* ♣  
*deserti*  
*gigantensis* ♣  
*margaritae* ♣  
*mckelveyana* \*  
*moranii* ♣

*sobria* ♣  
*subsimplex* ♣  
*vizcainoensis* ♣

**Sisalanae (5)**

*desmettiana* ▼  
*kewensis* ♣  
*neglecta* ▼  
*sisalana* ♣  
*weberi* ▼

**Umbelliflorae (2)**

*sebastiana* ♣  
*shawii* ♣

**Hiemiflorae (13)**

*atrovirens* ♣  
*congesta* ♣  
*hiemiflora*  
*hurteri* \*  
*isthmensis* ♣  
*lagunae* ♣  
*pachycentra*  
*parvidentata* ♣  
*potatorum* ♣  
*pygmae* ♣  
*seemanniana*  
*thomasiae* \*  
*wercklei* \*

**Marmoratae (4)**

*gypsophila* ♣  
*marmorata* ♣  
*nayaritensis* ♣  
*zebra* ♣

**Rigidae (13)**

*aktites* ♣  
*angustifolia* ♣  
*breedlovei* ♣  
*cantala* ▼  
*datylio* ♣  
*decipiens* \*  
*fourcroydes* ♣  
*karwinskii* ♣  
*macroacantha* ♣  
*panamana* \*  
*rhodacantha* ♣  
*stringens* ♣  
*tequilana* ♣

**Salmianae (6)**

*macroculmis* ♣  
*mapisaga* ♣  
*montana* ♣  
*ragusae* ▼  
*salmiana* ♣  
*tecta* \*

**Parryanae (6)**

*gracilipes*  
*guadalajarana* ♣  
*havadriana*  
*neomexicana*  
*parrasana* ♣  
*parryi*

**Ditepalae (10)**

*applanata* ♣  
*chrysantha* \*  
*colorata* ♣  
*durangensis* ♣  
*flexispina* ♣  
*fortiflora* ♣  
*murpheyi*  
*palmeri*  
*shrevei* ♣  
*wocomahi* ♣

\* = especies que no tienen distribución en México, ♣ = especies endémicas, ▼ = especies no conocidas en estado silvestre

## justificación: la importancia de los agaves en México

*Hablar de agaves es primeramente hablar de México y su historia.*  
Ana Valenzuela

Los agaves, comúnmente conocidos como "magueyes", son un grupo de plantas de gran relevancia en México por múltiples razones: se distribuyen prácticamente en toda la República, presentan un elevado porcentaje de endemismos (García-Mendoza, 1995; García-Mendoza y Galván, 1995) y su probable centro de origen se encuentra en la zona central de México, (Reichenbacher, 1985; Álvarez de Zayas, 1989). En términos ecológicos caracterizan algunas zonas áridas (Rzedowski, 1978), interactúan con una gran variedad de grupos de animales que se alimentan de ellos o se refugian allí (Granados, 1993; Arita y Santos del Prado, 1999; Cadaval, 1999; Arizaga *et al.*, 2000a; Silva, 2001) y ayudan a la conservación de suelos (Ramírez, 1995). Además, poseen una gran diversidad de usos tradicionales en diferentes culturas indígenas y son la base de múltiples actividades económicas locales y de exportación (Nobel, 1994; Ramírez, 1995; Valenzuela, 1994; García-Mendoza 1998; Salinas, 2000). Sin embargo, lo que se conoce de la mayoría de ellos es aún escaso y faltan estudios acerca de su ecología, taxonomía, sistemática, genética y conservación.

### distribución de los agaves en México, riqueza y endemismos

El género *Agave* L. comprende dos subgéneros (*Littaea* y *Agave*) los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en México. Su distribución abarca una variedad altitudinal desde el nivel del mar, en dunas costeras, hasta 2,900 msnm, ocupando una gran variedad de ambientes (García-Mendoza, 1995, 1998). El lugar de mayor riqueza y número de endemismos en la república mexicana es el valle de Tehuacán-Cuicatlán, que cuenta con la presencia de 15 especies de las cuales prácticamente la mitad son endémicas (García-Mendoza, 1995).

En México se han reportado 53 especies de *Littaea* (Abisaí García Mendoza, com. pers.), 5 de ellas sólo conocidas de plantas cultivadas. La mayoría crece por arriba de 1,000 metros de altitud, en bosques de pino-encino, selvas bajas caducifolias, matorrales xerófilos, bosques mesófilos de montaña, e incluso en las partes más secas del altiplano. De los 8 grupos taxonómicos señalados por Gentry, 5 son endémicos de México (García-Mendoza, 1995). En el caso del subgénero *Agave* existen aproximadamente 74 especies en México (Abisaí García Mendoza, com. pers.), 6 conocidas sólo de plantas cultivadas. Habitan diversos ambientes, desde dunas costeras hasta bosques de pino-encino. La mayoría de las especies vive en los bordes inferiores de la sierras, en lugares semi-húmedos (García-Mendoza, 1995). De los 12 grupos taxonómicos señalados por Gentry (1982), 2 son endémicos, aunque otros 4 grupos tienen la totalidad de sus especies representadas en el territorio nacional (García-Mendoza, 1995). En el recuadro 1 se pueden observar cuáles son las especies que conforman los distintos grupos taxonómicos (*sensu* Gentry, 1982) y cuáles de ellas se distribuyen en México.

**recuadro 2. Usos conocidos de los agaves en México**

Parte de la planta	Uso
	<i>Alimentario</i>
piña	aguamiel, azúcar, jarabe, pulque, miel, vinagre, aguardiente, mezcales, tequila, atoles, <i>fructuosa</i> , sal de gusano, condimentos para la barbacoa, saborizante de tamales y pan
piña (pulque)	levadura
quiote	jugo dulce
flores	guiso de gualumbo
epidermis	envoltura del mixiote
quiote asado, piña horneada	postre
corazón del meylote	guiso de huevo
quiote	tortillas
penca verde	guisar barbacoa
penca asada y horneada	mezcal dulce
	<i>Tejido y vestuario</i>
fibras de las pencas	hilos, cordeles y tejidos para: costales, bolsas, morrales, ceñidores, mantas telas, tapetes, petates, mecapales, lazos, sandalias, naguas, huipiles, cinchos, palmos, sudarios, hamacas, sombreros, ayates gruesos para carga, ayates delgados como ropa; cuerdas para: arcos de caza, instrumentos musicales, redes de pesca, redes de transporte y carga, sogas y reatas
	<i>Construcción</i>
quiote seco	vigas, garrochas y pilotes; pequeños puentes sobre riachuelos
toda la planta	cercas para delimitar terrenos
pencas frescas	techo (como tejado) material de construcción
baba (salvia) de la penca	aditivo para la mezcla
pencas	bateas para la mezcla
quiote ahuecado	canales para colectar agua de lluvia
espina terminal	clavos
	<i>Uso doméstico general</i>
raíces	cepillos para lavar, escobas y cepillos canastas
raíces y pencas	jabón para ropa
espina terminal con fibra	aguja con hilo incluido
pencas	recipientes para comida, bateas para masa y otros alimentos, tapones para barriles y castañas, estropajos y estopa, cunas para niños chiquitos
piña	recipiente para agua
quiote	aljabas para flechas
pencas y piñas secas	combustible
piña	macetas
mezontente	bancos para sentarse, mueble para guardar objetos pequeños
	<i>Ornato</i>
maguay completo	adornos de navidad
pencas	base para adornos de pluma y oro, fibras para arcos florales
semillas	adornos corporales, juguetes para niños, sonajas
fibras del quiote	tocados para mujeres
maguay completo	plantas de ornato
	<i>Agrícola</i>
maguay completo	formar y proteger terrenos, cercas protectoras, deslindar terrenos, protección contra la erosión
cenizas de pencas y piñas secas	abono
	<i>Forraje</i>
pencas frescas y raspa de piña	piensos para ganado mayor y porcino
residuos del pulque	alimento para aves
	<i>Religioso</i>
piña (aguamiel y pulque)	bebida ritual
espinas terminales	Instrumentos de autosacrificio
fibra de las pencas golpeadas	papel para códices
	<i>Medicinal</i>
jugo de hojas (brebaje)	purgas, asma, desmayos, fiebre, dolor de espalda
jugo de hojas (ungüento)	fiebre, falta de movimiento en los miembros contraídos por convulsión, torceduras, contusiones corporales
ceniza	Inflamación del estómago

Fuentes: Navarro (1801); Museo de culturas populares (1988); Granados (1993); Salinas (2000).

### **Centro de Origen**

Para muchos estudios de ecología y biogeografía la cuestión de la distribución, dispersión y centro de origen de las especies es un asunto fundamental. Varios autores proponen a México como el centro de origen de las agaváceas, o al menos del género *Agave*, además de ser su centro de distribución y diversidad (Berger, 1915 en Granados, 1993; Gentry, 1982; Castorena, 1985 en Valenzuela, 1994; Álvarez de Zayas, 1989). Álvarez de Zayas (1989) propone esta zona y época de origen con base en ciertas tendencias adaptativas y su posible relación con los climas que se desarrollaban en el centro de México durante el Cenozoico, aunque Eguiarte *et al.* (1994, 2000) usando datos moleculares, consideran que la diversificación de la familia Agavaceae es mucho más reciente, de 10 a 15 millones de años.

### **diversidad de usos**

Los agaves han sido utilizados por las culturas mesoamericanas desde hace aproximadamente 9,000 años (Nobel, 1994). La inmensa diversidad de usos y costumbres está asociada a múltiples culturas en prácticamente todo el país. Podemos ilustrar esto con un ejemplo: Don Francisco Hernández logró catalogar 14 especies y sus usos con lo que afirmaba que el maguey era el "árbol de las maravillas" del cual se obtenían todas las cosas necesarias para la vida humana: cercas, tejas, telas, costales, garrochas, clavos, agujas, pulque, miel, vinagre, mezcal, tequila, "shishi" para lavar ciertas telas, fibras para toda clase de artículos de cordelería y finos géneros (Ramírez, 1936). A pesar de ello, sólo unos cuantos usos han prevalecido y se han transformado a lo largo de la historia (Ramírez, 1995). La inmensa variedad de usos conocidos en México se resume en el recuadro 2.

### **Importancia Económica**

Los agaves tienen una gran importancia económica y cultural para muchas sociedades y comunidades. En algunos casos el mercado generado por productos de *Agave* puede alcanzar cifras que se encuentran en las decenas de millones de dólares al año y en miles de empleos. Como ejemplos podemos citar que en la primera mitad de los noventa dependían 37,000 campesinos del henequén en Yucatán (Ramírez, 1995) o que en 1999 se produjeron 190,000,000 de litros tequila, de los cuales se exportó la mitad (Alberto Kuri, Presidente de la Cámara Nacional de la Industria Tequilera, 19 de septiembre de 2000, 11 Noticias); sólo en Jalisco, en 1992 las divisas obtenidas por la venta de este alcohol superaron los 80 millones de dólares (Valenzuela, 1994).

### **Características Ecológicas Sobresalientes**

Los agaves tienen gran relevancia ecológica dado que pueden jugar un papel preponderante en la estructura trófica, funcional y fisonómica del sistema. A nivel fisonómico pueden presentar dominancia o codominancia en matorrales xerófitos, especialmente aquellos denominados crasicales y rosetófilos (Rzedowski, 1978). En las zonas áridas son un recurso importante debido a su naturaleza perenne, mientras que muchas especies del matorral xerófito pierden las hojas después de las lluvias, como *Fouquieria*; además de que muchos agaves florecen en época de secas, cuando hay pocos recursos de agua o néctar disponibles (Rzedowski, 1978; Nobel, 1994; Arizaga *et al.*, 2000a). En términos de historia de vida, los



agaves son semélparos, es decir, se reproducen sexualmente sólo una vez en su ciclo de vida: realizan un esfuerzo reproductivo enorme, con grandes inflorescencias que generalmente poseen abundante néctar, las cuales pueden llegar a durar desde varios meses hasta más de un año (Young y Augspurger, 1991). Este fenómeno es particularmente interesante ya que produce una gran interacción con una amplia variedad de animales polinizadores y ladrones de néctar y polen como: abejas, abejorros, moscas, hormigas, colibríes, calandrias y otras aves, polillas y murciélagos (Gentry, 1982; Cadaval, 1999; Arizaga *et al.*, 2000a; Eguiarte *et al.*, 2000). A su vez las pencas también son recursos alimenticios de otros organismos, como polillas (los famosos gusanos del maguey) hongos y bacterias (Granados, 1993; García-Mendoza, 1998) y son refugios para insectos, arañas, reptiles, roedores, etcétera (obs. pers.).

### **Servicios Ecológicos**

Los agaves contribuyen a la conservación de suelos, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas del país, donde son usados delimitando bordos o terrazas, evitando así el deslave de las tierras (Ramírez, 1995). En este sentido, también son utilizados por distintas culturas como "cerca viva" para separar terrenos. Este servicio es importante, debido a que la erosión del suelo es un grave problema en México, que alcanza más de 80% de los suelos en malas condiciones (Semarnap, 1995).

## antecedentes: las amenazas y la conservación de agaves en México

*Hay una creencia de que si alguien que sale a sembrar, come pollo, entonces vendrán los zorrillos a desenterrar los magueyes. Aunque lo deseen, a los niños no les dan de comer las patas de pollo.*  
Jesús Salinas Pedraza

En términos estrictos es difícil determinar específicamente cuáles especies de agaves están en peligro de extinción o en qué grado. Aproximadamente 50% del género es pobremente conocido, ya que es potencialmente raro o tiene endemismos restringidos (Hodgson, 1997). Si además consideramos que algunas poblaciones tienen pocos individuos, los riesgos para la preservación y conservación de los agaves son considerables (Hodgson, 1997). Existen causas de riesgo directas e indirectas que pueden hacer vulnerables las poblaciones de *Agave*; éstas se relatan a continuación.

### amenazas indirectas

Como principales amenazas indirectas se encuentran los cambios de uso de suelo de su hábitat original debido a la ganadería y a la agricultura. Según la Semarnap (1995), el cambio de uso de suelo a las dos actividades anteriormente mencionadas es el principal problema de conservación en México: la transformación de tierras forestales en pastizales tuvo un aumento de 157% en el periodo 1970-79 en el sureste del país. Actualmente la ganadería se desarrolla típicamente en los estados del norte (Conabio, 1998). Más de 60% del territorio nacional está destinado a actividades ganaderas, ya sea como áreas de pastoreo o como áreas dedicadas a la producción de forrajes (Conabio, 1998).

La disminución de los polinizadores es otro ejemplo del riesgo indirecto que pueden padecer los agaves. Por ejemplo, Eguiarte y Búrquez (1988) realizaron estudios de la fecundidad de *Manfreda brachystachya* –una especie cercana al género *Agave*– en la cual registraron una baja de 75%. Esto lo atribuyeron a la disminución de su principal polinizador nocturno, *Leptonycteris curasoae*, ya que en individuos polinizados manualmente se comprobó que la planta mantenía el potencial de fecundidad registrado en años previos. Este murciélago de nariz larga es un reconocido polinizador de agaváceas y cactáceas, y en varios estudios se ha propuesto que una posible disminución local de sus poblaciones podría afectar el reclutamiento de semillas de *Agave* (Arita y Wilson, 1987; ver Nabhan y Fleming, 1993). Cabe destacar que *Leptonycteris curasoae* es una especie migratoria y por lo tanto su conservación depende de varios hábitats, desde el sur de los Estados Unidos hasta el centro de México, lo que probablemente es un factor más de fragilidad en ésta relación mutualista no exclusiva (Arita y Santos del Prado, 1999; Arizaga *et al.*, 2000b).

### amenazas directas

La sobre-explotación para el uso de fibras, producción de alcoholes y la extracción selectiva de especies con fines de ornato, son las amenazas directas sobre ciertas especies de *Agave* con mayor impacto negativo. La exportación de agaves a Europa fue particularmente importante a principios y mediados del siglo XIX, en donde se realizaron varios intentos para

lograr su tipificación científica a partir de los ejemplares de ornato conocidos de jardines botánicos, inclusive de jardines particulares (Granados, 1993; Eguiarte *et al.*, ms. en proceso). Las suculentas han resultado atractivas a coleccionistas de flora silvestre al punto de ponerlas en peligro de extinción, como es el caso de *Agave victoriae-reginae*, el cual se encuentra clasificado en dicha categoría por la NOM-059-ECOL-2001 y catalogado como amenazado en la lista de especies elaborada por la CITES (Diario Oficial de la Federación 06/03/02; <http://www.org.uk/CITES>). El caso de *Agave victoriae-reginae* es paradigmático, pues aunque ha disminuido la extracción de ejemplares completos de su hábitat natural, partes como las inflorescencias, y en especial sus semillas, son removidas casi totalmente por el comercio ilegal (Franco, 1995; Martínez-Palacios *et al.*, 1999). Esta especie además de tener una clonalidad muy baja (Gentry, 1982) posee alto grado de diversidad genética y de diferenciación entre poblaciones, por lo que su conservación representa un reto complejo (Martínez-Palacios *et al.*, 1999).

El manejo de monocultivos con un único tipo o variedad de planta generalmente deriva en la pérdida de variabilidad genética de dicho taxón. El caso de las plantaciones para la producción de tequila y de henequén en México es muy ilustrativo. Antiguamente el tequila se obtenía de al menos ocho variedades de *A. tequilana*: "azul", "mezcal chino", "bermejo", "xingüín", "moraleño", "chato", "mano larga", "zopilote" y "pie de mula" (Valenzuela, 1994). La Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-1993 -y sus modificaciones en 1994 y 2000- que regula la producción de tequila establece que éste sólo debe producirse de la variedad "azul", lo cual ha provocado que cada vez sea más difícil encontrar las variedades silvestres anteriormente mencionadas (Valenzuela, 1994; Gil *et al.*, 2001; [cronos.cta.com.mx/cgi-bin/normas/index.htm](http://cronos.cta.com.mx/cgi-bin/normas/index.htm)). El henequén (*A. fourcroydes*) anteriormente se obtenía de 7 variedades, actualmente quedan 3, de las cuales 2 enfrentan la posibilidad de extinguirse (Colunga-GarcíaMarín, *et al.*, 1999). En ambos casos, el manejo comercial de la planta no permite que desarrolle su ciclo reproductivo, se entrecruce y deje semillas, por lo que las miles de hectáreas plantadas en el país provienen de individuos vegetativos (clones). Estudios recientes sobre la variabilidad genética en ambos casos, muestran a los cultivos con una porción mínima de la variabilidad presente en otras variedades de la misma especie o de su antecesor más cercano (Colunga-GarcíaMarín, *et al.*, 1999; Gil *et al.*, 2001). Esto, además de ser una pérdida concreta de variedades que podrían ayudar en el mejoramiento de la producción agroindustrial del henequén y del tequila, es un proceso que vulnera a los cultivos. Existe el riesgo de que alguna plaga pueda atacar a todas las plantas, como ocurrió en el famoso caso de la infestación por el hongo *Phytophthora infestans* que arrasó las plantaciones de papas en Irlanda en el siglo pasado (Raven *et al.*, 1992).

### **medidas gubernamentales de protección**

**Legislación.** Anteriormente el aprovechamiento de todo lo no maderable se regulaba por la Ley Forestal Federal (1997) y por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1996), artículo 87. Sin embargo, la nueva Ley General de Vida Silvestre (2000), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000, es la que actualmente regula la materia. Ésta determina que, para realizar un aprovechamiento de ejemplares de vida silvestre se deben presentar planes de manejo que contengan estudios detallados de la tendencia de las poblaciones que se desea y estipula además, que se debe de conservar su hábitat natural.

*Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental.- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres.- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.- Lista de especies en riesgo* menciona que en México existen 18 especies de *Agave* en riesgo: tres en peligro de extinción, que son endémicas, seis en estatus de amenazadas -de las cuales la mitad son endémicas- y nueve sujetas a protección especial que presentan cinco endemismos, recuadro 3.

### áreas naturales protegidas

Los conservacionistas han corroborado con su trabajo que la reducción y destrucción del hábitat se encuentra en el corazón del fenómeno de extinción (Eldrege, 1992). Por otro lado, la declaración de un área natural protegida (ANP) es uno de los instrumentos más poderosos para garantizar la conservación de la biodiversidad (Carabias, 2000). Ante la pregunta ¿cuánto han contribuido actualmente las ANP a la conservación de agaves? la respuesta es ambigua, pues a la fecha aún no se sabe con exactitud cuántas especies de *Agave* hay dentro del sistema nacional de áreas naturales protegidas, dado que muchas áreas no tienen los inventarios completos, son muy viejos y poco confiables (Villaseñor *et al.*, 1998). Para 1995 Franco reporta que de las 89 áreas naturales protegidas decretadas, 26 incluían al menos una especie del género *Agave*. Sin embargo, de las 18 especies listadas en la NOM-059-ECOL-2001, sólo 4 se encontraban dentro de una ANP, por lo que hasta entonces el factor de riesgo prácticamente no había desencadenado acciones concretas *in situ* en favor de la conservación de los agaves. No obstante, a partir de 1995 las áreas protegidas han aumentado considerablemente por lo que se debe actualizar la lista de especies de *Agave* que habitan en dichas áreas.

### medidas internacionales

Las medidas internacionales que consideran concretamente la conservación de agaves que se distribuyen en México son la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés), la cual tiene 2 especies de *Agave* listadas, *Agave parviflora* y *Agave victoriae-reginae*, en sus Apéndice I y Apéndice II, respectivamente (<http://www.org.uk/CITES>), así como otra especie que no se distribuye en el territorio nacional. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (o IUCN, por sus siglas en inglés) es conocida por editar a nivel mundial los *red data books*, que son listados de las especies silvestres que se encuentran en alguna de sus categorías de riesgo. En 1997 el grupo especializado en plantas suculentas editó un excelente libro sobre el estado de los cactus y las plantas suculentas en todo el mundo (Oldfield, 1997) que incluye una revisión de las agaváceas que se encuentran en alguna de las categorías de riesgo que la UICN definió en 1994 (Hodgson y García-Mendoza, 1997) y tiene sugerencias y planes de acción para una conservación efectiva de las plantas suculentas.

Dado que la mayoría de los agaves tienen poblaciones demográficamente pequeñas, microendemismos u ocupan un hábitat muy particular (raro), su conocimiento es en muchos casos incipiente y las amenazas que se ciernen sobre ellos pueden llegar a ser múltiples; parece lógico buscar esquemas para su conservación en México.

recuadro 3. Especies de *Agave* listadas en la NOM-059-ECOL-2001\*

Nombre científico	Nombre común	Categoría	Distribución
<i>Agave lurida</i>	magüey de la luna	en peligro de extinción	endémica de Oaxaca
<i>A. nizandensis</i>	magüey de nizanda	en peligro de extinción	endémica de Oaxaca
<i>A. victoriae-reginae</i>		en peligro de extinción	endémica de Durango, Nuevo León y Coahuila
<i>A. dasylirioides</i>	magüey intrépido	amenazada	endémica de México central: Oaxaca, San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo, Edo. de México y Guerrero
<i>A. guiengola</i>	magüey plateado	amenazada	endémica de Oaxaca
<i>A. impressa</i>	magüey masparillo	amenazada	endémica de Nayarit y Sinaloa
<i>A. bracteosa</i>	magüey huasteco	amenazada	endémica de Coahuila y Nuevo León
<i>A. parviflora</i>	magüey sóbari	amenazada	no endémica, se distribuye en Sonora y Chihuahua
<i>A. polianthiflora</i>	magüey de colibrí	amenazada	endémica de Sonora y Chihuahua
<i>A. chiapensis</i>	magüey chamula	sujeta a protección especial	endémica de Chiapas
<i>A. congesta</i>	magüey tzotzil	sujeta a protección especial	endémica de Chiapas
<i>A. kewensis</i>	magüey del Grijalva	sujeta a protección especial	endémica de Chiapas
<i>A. ornithobroma</i>	magüey pajarito	sujeta a protección especial	endémica de Sinaloa y Nayarit
<i>A. parrasana</i>	magüey de Parras	sujeta a protección especial	endémica de Coahuila
<i>A. peacockii</i>	magüey fibroso	sujeta a protección especial	endémica de Puebla y Oaxaca
<i>A. titanota</i>	magüey del sol	sujeta a protección especial	endémica de Puebla y Oaxaca
<i>A. gypsophila</i>	magüey gipsófilo	sujeta a protección especial	endémica de Colima, Jalisco y Guerrero
<i>A. vizcainoensis</i>	magüey de El Vizcaíno	sujeta a protección especial	endémica de Baja California Sur

\*Publicada en el "Diario Oficial de la Federación" el 6 de marzo de 2002.

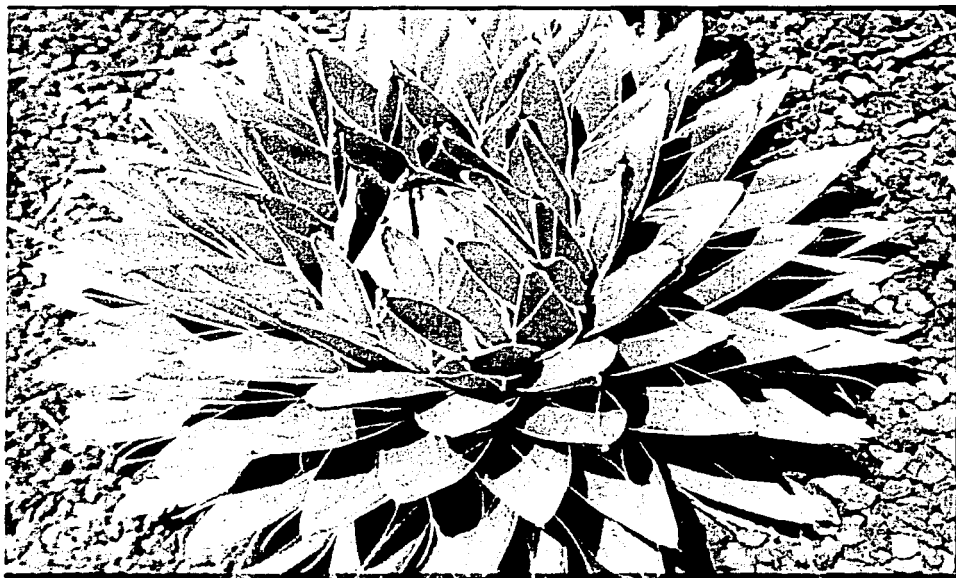
Las especies listadas originalmente como "raras" en la versión de 1994 se incluyeron en la categoría de "sujetas a protección especial" en la actualización de 2002.

## ¿qué y cómo conservar?

¿Existen áreas que optimicen la conservación de los agaves en México?  
¿Con qué criterios se pueden seleccionar?

Si se quiere conservar una alta diversidad biológica es necesario reflejar la complejidad que ésta representa (Figuroa, 1995). En México no se han realizado los estudios que sustenten cuáles son los lugares con mayor diversidad de agaves, considerando no sólo la riqueza, sino los procesos históricos y ecológicos que determinan esa complejidad.

Este trabajo pretende ser el primer acercamiento integral, por medio de distintos análisis, a la identificación de zonas de alta diversidad de agaves en México y a partir de su síntesis establecer una priorización de áreas y medidas tendientes a su conservación.



*Agave victoriae-reginae*

## ¿qué y cómo conservar?

¿Existen áreas que optimicen la conservación de los agaves en México?  
¿Con qué criterios se pueden seleccionar?

Si se quiere conservar una alta diversidad biológica es necesario reflejar la complejidad que ésta representa (Figuroa, 1995). En México no se han realizado los estudios que sustenten cuáles son los lugares con mayor diversidad de agaves, considerando no sólo la riqueza, sino los procesos históricos y ecológicos que determinan esa complejidad.

Este trabajo pretende ser el primer acercamiento integral, por medio de distintos análisis, a la identificación de zonas de alta diversidad de agaves en México y a partir de su síntesis establecer una priorización de áreas y medidas tendientes a su conservación.



*Agave victoriae-reginae*

## objetivos

### objetivos generales

- Describir los patrones de diversidad del género *Agave* en México a escala de un grado de longitud por un grado latitud, según los siguientes parámetros:
  - riqueza
  - rareza
  - diversidad de grupos taxonómicos
  - diversidad filogenética
  - distribución geográfica
- Identificar áreas cruciales (denominadas "áreas consenso") para la conservación del género *Agave* por medio de la integración de los distintos patrones de diversidad y de otros aspectos relevantes para su conservación.

### objetivos específicos

- Determinar las zonas más relevantes para cada patrón de diversidad
- Realizar un mapa con las áreas consenso
- Determinar si es necesario llevar a cabo todos los análisis de los parámetros de diversidad para establecer las áreas consenso de un modo más eficiente.



## objetivos

### objetivos generales

- Describir los patrones de diversidad del género *Agave* en México a escala de un grado de longitud por un grado latitud, según los siguientes parámetros:
  - riqueza
  - rareza
  - diversidad de grupos taxonómicos
  - diversidad filogenética
  - distribución geográfica
- Identificar áreas cruciales (denominadas "áreas consenso") para la conservación del género *Agave* por medio de la integración de los distintos patrones de diversidad y de otros aspectos relevantes para su conservación.

### objetivos específicos

- Determinar las zonas más relevantes para cada patrón de diversidad
- Realizar un mapa con las áreas consenso
- Determinar si es necesario llevar a cabo todos los análisis de los parámetros de diversidad para establecer las áreas consenso de un modo más eficiente.

## materiales y métodos

*El camino misterioso no va hacia adentro, sino hacia afuera, no entra en laberintos, sino que sale de ellos.*  
Jostein Gaarder

### **género de estudio**

Se eligió trabajar con el género *Agave* debido a su importancia ecológica, social y económica, a su gran número de especies y a su amplia distribución.

Los agaves son plantas monocotiledóneas perennes, suculentas, con hojas o pencas simples en forma de roseta, que comúnmente presentan una espina terminal, y suelen estar dentadas en los bordes (Nobel, 1994). Son monocárpicas, es decir, se reproducen sexualmente sólo una vez en su ciclo de vida y después mueren, aunque muchas son capaces de formar clones a partir de rizomas o de bulbilos que nacen de la inflorescencia (Nobel, 1994). La inflorescencia es de tipo espigada, racemosa o paniculada, y puede durar varios meses. Las raíces son superficiales y se extienden radialmente para mejorar la captación de agua y nutrientes. Las semillas son color café oscuro o negras, agrupadas en un fruto trilobulado dehiscente (Gentry, 1982).

*Agave* es el género más rico en número de especies de la familia Agavaceae; posee aproximadamente 32% de las especies totales de la familia (Hodgson, 1997). Varios autores lo han reconocido como un complejo de dos subgéneros: *Littaea* y *Agave*. Las diferencias principales entre éstos se detallan en el cuadro 1 y se pueden observar en las fotografías (figura 1).

**Cuadro 1.** Características diferenciales de los subgéneros *Littaea* y *Agave*, obtenidas de Gentry (1982)

<i>Littaea</i>	<i>Agave</i>
Presenta inflorescencias espigadas o racemosas, con flores generalmente menores a 5 cm y rosetas comúnmente pequeñas o medianas.	Presenta inflorescencias paniculadas (sobre pedúnculos laterales) con flores grandes (mayores a 5 cm) en agregados umbelados. El tamaño de la roseta es variable pero muchas especies presentan gigantismo.

### **obtención de datos**

Los datos fueron obtenidos de mapas realizados por García Mendoza (García-Mendoza, 1995; García-Mendoza y Galván, 1995) mediante colecta en campo y datos de herbario, y fueron actualizados parcialmente (García-Mendoza, com. pers.). Los mapas ubican la presencia de especies silvestres de *Agave* que se encuentran en los cuadrados de una rejilla de líneas

longitudinales y latitudinales a escala de un grado latitud por un grado longitud, trazado sobre la República Mexicana. Los cuadrados se identificaron en el espacio de modo cartesiano, con letras en el sentido vertical (latitud) y números en el horizontal (longitud), Apéndice 1. Para identificar a qué región fisiográfica correspondía cada cuadrado se usó un mapa elaborado ex profeso por la Conabio que sobrepone 19 provincias biogeográficas agrupadas de acuerdo con el tipo general de hábitat y basado en atributos físicos y biológicos (Conabio,2000) con una rejilla de 1° lat/long (Apéndice 2).

### patrones de diversidad

Con esta información se construyó una matriz de presencia-ausencia por cuadrado, a partir de la cual se hicieron los análisis con los siguientes parámetros: riqueza, rareza, diversidad de grupos taxonómicos, diversidad filogenética y distribución geográfica. Con los resultados, se elaboraron mapas en los que se muestra la distribución de los patrones obtenidos para cada parámetro de diversidad considerado.



Figura 1. Izquierda: representante del subgénero *Agave*. Derecha: representante del subgénero *Littaea*

Para cada caso se seleccionaron los cuadrados que presentaron la diversidad más elevada. Esta selección se hizo de acuerdo cada patrón, a fin de obtener un umbral o límite adecuado a cada caso. Por lo tanto, el número de cuadrados seleccionados varía dependiendo del análisis ocupado (e.g., 14 para riqueza, 6 para variedad morfológica, 9 para diversidad

filogenética, etc.). Los cuadrados seleccionados se ordenaron por jerarquía usando distintos criterios, según el caso, con el objeto de priorizar las áreas para la conservación de agaves -a excepción del patrón biogeográfico, que se explica más adelante-. Por ejemplo, se usó el de complementariedad (Pressey *et al.*, 1993) para el patrón de riqueza y el de distancias de Faith (1992) para la diversidad filogenética.

Posteriormente, se determinó la importancia relativa de cada cuadrado seleccionado por patrón y se realizó una matriz en la cual las columnas representan patrones, y los renglones, las áreas seleccionadas. La suma total de cada importancia relativa presentada por cuadrado, es una primera síntesis, que nos dice qué cuadrados presentan la mayor diversidad global en la República Mexicana.

A partir de dichos resultados, se tomaron los 9 cuadrados con mayor diversidad total y se hizo un análisis más detallado de ellos para saber cuáles necesitan atención con mayor urgencia y determinar así las áreas prioritarias para la conservación, denominadas "áreas consenso" por ser la síntesis de todos los aspectos considerados en el presente estudio. Este nuevo orden de prioridades para la conservación de los *Agave* es el resultado final de este trabajo, y se realizó un mapa con ellas.

Los nuevos criterios considerados fueron:

- que las especies que contienen se encontraran dentro de alguna ANP. Los datos se obtuvieron de Franco (1995), así como los datos de colecta dentro de alguna área natural protegida registrados la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad;
- que coincidieran con las zonas reconocidas por la Conabio (Arriaga *et al.*, 2000) como "regiones prioritarias terrestres", y la proporción con que esto ocurre; dicha información se obtuvo a partir de un mapa elaborado por la Conabio con éstas regiones dentro de la cuadrícula de 1° lat/long
- que los cuadrados elegidos tuvieran especies listadas en la NOM-059-ECOL-2001 en cualquier categoría de riesgo

### **patrón de riqueza**

La riqueza de especies se obtuvo al contar el número de especies presente en cada cuadrado. Se realizó un mapa con el número total de especies por cuadrado para cada subgénero y para el género completo. Se realizó un histograma con el número de especies presentes por cuadrado para observar su conspicuidad.

La jerarquización de las áreas (cuadrados) se realizó en función del criterio de complementariedad, según el cual el primer cuadrado a elegir debe ser el que contenga mayor riqueza de especies, y el segundo y los siguientes, aquéllos que tengan el mayor número de especies diferentes. Esto es, que no se encuentren presentes en los cuadrados seleccionados anteriormente. Por ello se le considera como un indicador de la diversidad beta (Faith y Walker, 1996) que mide el recambio de especies entre regiones o comunidades. Este mecanismo pretende optimizar los recursos para la conservación de las especies, ya que prácticamente "por definición", son escasos. En los casos en que dos áreas aportaran el mismo número de especies nuevas, se seleccionó aquélla que tuviese mayor riqueza total y

sólo en caso de que obtuvieran la misma riqueza, se consideró el número de especies de distribución restringida que hubiese en cada cuadrado.

#### **patrón de microendemismos o rareza**

De los diferentes tipos de rareza (Rabinowitz *et al.*, 1986) sólo se utilizó aquel que se refiere a las especies de distribución restringida, ya que los datos de presencia-ausencia en los cuadrados no aportan información sobre la densidad de sus poblaciones o los hábitats específicos en donde éstas se encuentran. Para tener un cálculo del área de ocupación por especie, se sumó la superficie total de los cuadrados que tuvieran la presencia de dicha especie, del mismo modo que se calculó con el género *Bursera* por Kohlmann y Sánchez (1984). Se equiparó el área total de un cuadrado a 12,100 km<sup>2</sup>.

Se realizaron histogramas de distribución de frecuencias del número de cuadrados ocupados por especie para *Littaea*, *Agave* y para el género completo. Se determinó que una especie es "rara" o de "distribución restringida" si se encuentra presente en 1 a 3 cuadrados. El criterio para tomar esta decisión se basó en que la distribución de frecuencias es bimodal, con la caída del primer pico después de 3 especies por cuadrado. Se realizaron los mapas de especies de distribución restringida para cada subgénero y para el género completo.

Se seleccionaron primero aquellos cuadrados que presentaron especies de distribución única. Para jerarquizarlos, se otorgó prioridad al número de especies raras que se acumularan por área es decir, una complementariedad con respecto a aquellas que ya estuviesen contempladas en un área seleccionada previamente.

#### **patrón de grupos taxonómicos**

El parámetro de grupos taxonómicos se construyó con las divisiones (denominadas en este trabajo "grupos taxonómicos") que Gentry (1982) propuso para los agaves con base en su morfología. Los grupos taxonómicos tienen una jerarquía mayor que especie y menor que subgénero. La justificación más importante para evaluar la conservación de la biodiversidad con atributos morfológicos se puede basar en que es la característica más común y de uso directo para la gente; su valor también radica en su relación con cualidades funcionales (Williams *et al.*, 1994).

Se realizaron mapas de grupos taxonómicos para cada subgénero y para el género completo, para lo cual se contó el número de grupos taxonómicos presentes por cuadrado. Así, en un ejemplo hipotético, si un cuadrado contenía 4 especies de distintos grupos taxonómicos su valor era igual a 4, pero si 2 de aquellas especies pertenecían al mismo grupo su valor era equivalente a 3, pues independientemente del número de especies presente en el cuadrado sólo había representantes de 3 grupos taxonómicos.

La selección de las áreas más relevantes en diversidad de grupos taxonómicos de *Agave* se hizo por complementariedad, de modo de que todos los grupos taxonómicos que se distribuyen en México estuviesen representados.

### **patrón de diversidad filogenética**

Para obtener el patrón de diversidad filogenética primero se construyó una matriz de caracteres con ayuda del programa *MacClade 3.01* (Maddison y Maddison, 1992), seleccionando ciertas características morfológicas descritas por Gentry (1982) que no presentaran mucha variación intragrupal (García-Mendoza, com. pers.), a fin de que se lograran definir bien los grupos taxonómicos del género *Agave*. Se incluyeron cuatro géneros cercanos a *Agave*: *Manfreda*, *Furcraea*, *Beschorneria* y *Yucca* como grupos externos que permitieran enraizar la filogenia resultante. Esto con la intención de que los grupos primitivos estuviesen bien definidos, ya que el índice de la representatividad de la filogenia (May, 1990) le da mayor peso a los taxones basales. La matriz de caracteres morfológicos tiene un tamaño de 24 taxones (20 grupos taxonómicos de *Agave* + 4 géneros externos) x 28 características (Apéndice 4). Se incluyó al grupo taxonómico Urceolatae perteneciente a *Litsea* que no tiene distribución en México, porque de esta forma no se introducen artefactos al considerar una filogenia parcial del género *Agave* (Eguiarte *et al.*, 1999) y para ampliar el espectro de utilidad que pueda tener el presente estudio. La información taxonómica de *Furcraea*, *Manfreda*, *Beschorneria* y *Yucca* fue proporcionada por el Dr. Abisai García-Mendoza. Posteriormente se realizó la filogenia con el programa *PAUP* versión 3.1.1. (Swofford, 1993) efectuando una búsqueda heurística y asignándole orden a 3 características: tamaño de roseta, presencia de dientes (espinas) y tipo de dientes.

A partir del árbol filogenético elegido se obtuvieron los índices de diversidad filogenética para cada grupo taxonómico según el método de Vane-Wright *et al.* (1991) corregido por May (1990). Este método asigna valores diferenciales a cada taxa según la topología del árbol, es decir, su posición en la filogenia. Ambos métodos tienen el criterio de darle un valor mayor a los taxones basales dado que poseen más información evolutiva que los taxones terminales (Vane-Wright *et al.*, 1991; May, 1990; Santos del Prado, 1996; Arita y Santos del Prado, 1999). En el recuadro 4 se analiza un ejemplo hipotético con ambos métodos.

Un problema del método de Vane-Wright *et al.* (1991) es que no distingue pesos taxonómicos entre grupos hermanos con el mismo número de nodos, mientras que en el de May (1990), al contar el número de linajes que surge de cada nodo se les otorga valores diferenciales. Por lo anterior, y debido a que el método de May es muy sencillo y uno de los más utilizados en la literatura revisada (Cousins, 1991; Arita y Santos del Prado, 1999; Eguiarte *et al.*, 1999), se eligió trabajar con este método, aunque no hay diferencias significativas entre ambos (Humphries *et al.*, 1995; Santos del Prado, 1996).

A cada grupo taxonómico le corresponde un porcentaje de filogenia, es decir, tiene una cierta representatividad filogenética. Se optó por dividir el porcentaje de filogenia de cada grupo taxonómico entre el número de especies que lo conforman y posteriormente, en cada cuadrado se sumó el valor ponderado de cada una de las especies presentes, de manera similar al método usado por May. Debido a la gran amplitud de valores obtenidos, fue necesario realizar primero un histograma de distribución de frecuencias, para realizar el mapa correspondiente. En él se representan categorías de porcentajes de la filogenia total por cuadrado.

Para jerarquizar el parámetro filogenético se utilizó el método de Faith (1992), que considera la distancia filogenética entre los taxones por medio del número mínimo de ramas que los unen, pero simplificado, es decir, considerando todas las ramas con longitud equivalente

**recuadro 4. Métodos de Vane-Wright *et al.* (1991) y de May (1990) para calcular índices de filogenia**

Supongamos una filogenia hipotética como la que se encuentra en la fig. 1, en donde A, B, C, D, E, F, G, H, I y J son especies.

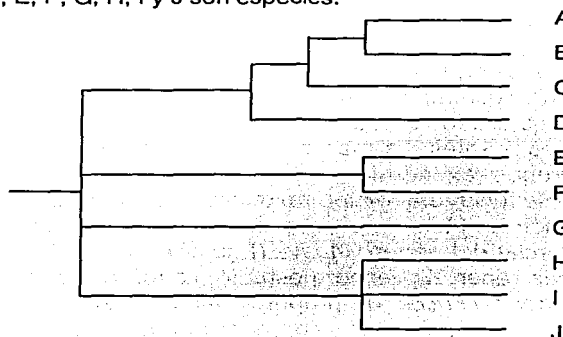


Figura 1. Árbol filogenético hipotético de las especies A – J

Lo primero que hay que hacer según el método de Van-Wright *et al.* (1991) es sumar el número de nodos necesarios para llegar a cada especie, así como el número total de nodos dentro del cladograma. Para el método propuesto por May (1990) se suman las ramas en lugar de los nodos, todo lo demás es igual. Después se divide la suma de nodos total (o de ramas en este caso) entre la suma de nodos por especie, ese resultado nos da un determinado número de puntos por especie denominado peso taxonómico básico (PTB). A continuación se realiza la sumatoria de todos los PTB por especie, para obtener el PTB total. Para facilitar los cálculos se debe realizar la división de cada PTB por el PTB más bajo, de modo que los resultados están estandarizados. Después se divide el valor estandarizado por especie entre el total (PTB<sub>tot</sub> estandarizado) y lo multiplicamos por 100 para tener los índices en términos de la proporción porcentual que cada especie representa en el cladograma. En el siguiente cuadro se encuentran los cálculos requeridos para la obtención de los índices filogenéticos mediante ambos métodos.

Proporción porcentual filogenética por especie representada en la fig. 1, calculada con los métodos de Vane-Wright *et al.* (1991) y May (1990).

Vane- Wright et al. (1991)			May (1990)		
Nº DE NODOS	PTB	%	Nº DE RAMAS	PTB	%
4	6	5.17	10	7.10	6.65
4	6	5.17	10	7.10	6.65
3	8	6.90	8	8.88	8.31
2	12	10.34	6	11.83	11.09
2	12	10.34	6	11.83	11.09
2	12	10.34	6	11.83	11.09
1	24	20.69	4	17.75	16.63
2	12	10.34	7	10.14	9.50
2	12	10.34	7	10.14	9.50
2	12	10.34	7	10.14	9.50
24	116	100.00	71	106.75	100.00

(Arita y Santos del Prado, 1999). No se buscó un árbol que distinguiera la longitud de las ramas, ya que para incorporar la información que otorga el largo de ramas, se requieren modelos más exactos que interpreten la distribución de los caracteres para encontrar y modelar de forma precisa el valor de la biodiversidad, esto es, conocer la tasa a la que posiblemente cambian los caracteres y suponer que una nueva característica morfológica medible ocurrirá siempre a un mismo número de mutaciones o cambios en el genoma (Humphries, *et al.*, 1995). En los cuadrados relevantes que presentaron la mayor proporción de la filogenia con el índice de May, se realizó un segundo análisis, de modo que se priorizaron las áreas que tuvieran presentes los taxones más lejanos entre sí, es decir aquellos que necesitan mayor número de ramas para conectarlos.

Para ejemplificar lo anterior volvamos al recuadro 4. Imaginemos que existe un área X que contenga las especies G, H, I y J y otra área W, que presente las especies A, E, F y G. La suma de los porcentajes de representatividad filogenética por áreas es igual a 45.13 para el área X y a 38.81 para el área W. Asimismo, el número mínimo de ramas necesarias para unir a G, H, I y J es igual a 5, mientras que el número de ramas para unir a A, E, F y G es de 8. Por lo tanto, aunque la suma de la representatividad filogenética es mayor en el área X, la distancia o el número de ramas para conectar a las especies A, E, F y G es mayor, razón por la cual el área W tendría prioridad en términos de conservación.

#### **patrón de diversidad biogeográfica**

El patrón geográfico se obtuvo mediante el método de análisis de parsimonia de endemismos PAE (Parsimony Analysis of Endemicity) (Rosen, 1988) el cual se basa en el concepto de regiones bióticas delimitadas por el patrón de coincidencia de biotas endémicas. El método consiste en utilizar las herramientas cladistas de comparación y generación de respuestas parsimoniosas para producir filogenias, cambiando a las especies por áreas y a los caracteres por taxones, de modo que se obtiene un cladograma que agrupa a las áreas que se parecen más entre sí por su contenido de especies, pero que no significa nada en cuanto a relaciones genealógicas. Para ello se utilizaron los resultados obtenidos por un trabajo realizado anteriormente en colaboración con A. Silva, L. Eguiarte y A. García-Mendoza (Tambutti *et al.*, 1995) para *Litsea* y *Agave*. No se consideró el patrón del género completo, ya que los patrones de distribución geográfica se definen con mayor claridad al tratar los subgéneros por separado. Se partió de una matriz de presencia-ausencia de especies por cuadrado para cada subgénero elaborada con *MacClade* versión 3.01 (Maddison y Maddison, 1992), cuyos datos fueron procesados con el programa *PAUP 3.1.1* (Swofford, 1993). La matriz construida para *Agave* fue de 62 columnas (especies) x 157 renglones (cuadrados) y la de *Litsea* tuvo un tamaño de 45 x 99. El PAUP agrupó en clados a los cuadrados (áreas) que presentaban mayor similitud en su composición de especies, a los cuales podemos considerar como una referencia indirecta de la dispersión histórica de dichas especies y su posible asociación. Se seleccionaron los clados que agrupaban a más de 3 cuadrados en el caso de *Litsea* y a 4 cuadrados para *Agave* considerando que cada uno consiste en un subpatrón y se realizó un mapa con ellos. Dado que el cladograma seleccionado es uno de varios igualmente parsimoniosos, este análisis de distribución geográfica para *Litsea* y para *Agave* debe considerarse como preliminar.

Los mapas de los patrones biogeográficos no pueden evaluarse de acuerdo a una mayor o menor diversidad; en términos de conservación basta considerar a un cuadrado



representativo de cada subpatrón. Por lo eso, a todos los cuadrados seleccionados con este parámetro se les otorgó un valor idéntico y no tienen un orden jerárquico. Debido a que los subpatrones representan fitoregiones definidas por la presencia de ciertas especies de *Agave*, se decidió seleccionar por cada subpatrón a aquél cuadrado que representara su "centro de diversidad" el cual, desde la óptica tradicional de la biogeografía es el que tenga mayor número de especies. Como segundo criterio para los casos de cuadrados con características equivalentes, se consideró que fuese representativo de un subpatrón del otro subgénero. Aun así, hubo 2 casos (subpatrón 9 *Litsea* y subpatrón 7 *Agave*) en que fue necesario seleccionar al azar a uno de dos cuadrados que cumplieran con ambas características.

#### Comparación entre métodos

Con respecto al objetivo secundario de esta tesis, el determinar si son necesarios todos los parámetros de diversidad para establecer las áreas consenso, se aplicó el índice de correlación de Pearson a todos los cuadrados con importancia relativa para algún parámetro de diversidad, con lo que se determinó si las relaciones entre ellos eran significativas, positiva o negativamente.



## resultados

*al comenzar mis estudios, el primer paso me agradó tanto  
(...) que apenas he avanzado algo y apenas he deseado continuar.  
Casi prefiero detenerme y vagar para siempre, con el fin de cantarlo  
en canciones extáticas  
Walt Whitman*

### Riqueza

El género *Agave* tiene una amplia distribución en México, 178 de los 235 cuadrados que se consideraron sobre el territorio mexicano presentan al menos una especie de *Agave*, lo que equivale a 75.7% del territorio y sólo 24.3% de los cuadrados no tienen registros de presencia de algún agave. El mapa de la riqueza del género *Agave* (figura 2) muestra que la región que menos agaves presenta es la península de Yucatán, con una sola especie distribuida en la parte norte. El cuadrado que contiene la mayor riqueza es el O20 con la presencia de 15 especies, correspondiente a una parte del valle de Tehuacán- Cuicatlán. Los cuadrados que le siguen en cuanto a riqueza tienen 10, 9 y 8 especies. El promedio de especies y desviación estándar por cuadrado es de  $2.3 \pm 2.4$ . Las regiones con mayor riqueza son la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico, parte del Desierto Sonorense colindante con la Sierra Madre Occidental y con el límite septentrional de la Costa del Pacífico, y el sur de Oaxaca y Chiapas (Costa del Pacífico).

El histograma del número de especies por cuadrado (figura 3) muestra que en México la mayoría de las áreas o cuadrados tienen pocas especies. La distribución de frecuencias se ajusta a una curva logarítmica negativa ( $r = 0.977$ ). Cabe destacar que 67.4% de los cuadrados que sí contienen especies, presentan de 1 a 3, mientras que aquellos con elevada riqueza (de 8 a 15 especies), tienen un orden de magnitud menor (6.7%).

**Cuadro 2.** Distribución y riqueza de los agaves en México.

	Nº cuadrados	Promedio de agaves por cuadrado	DS
Género	178 (75.7)	2.34	2.43
Subgénero <i>Agave</i>	157 (67)	1.43	1.57
Subgénero <i>Littaea</i>	106 (0.45)	0.94	1.36

Nº. de cuadrados = total de cuadrados abarcados por taxón, el número que está entre paréntesis es el porcentaje respecto a los cuadrados ubicados en México; DS = la desviación estándar del promedio obtenido en la columna anterior.

Al comparar los subgéneros podemos observar que *Agave* abarca un área mayor de la república mexicana que *Litsea* (figuras 4 y 5), con una extensión de 157 cuadrados *versus* 106 y que también alcanza una mayor riqueza de especies por cuadrado, con un máximo de 9 *vs* 6, respectivamente. La distribución promedio y su desviación estándar es de  $1.4 \pm 1.6$  agaves por cuadrado en *Agave* y de  $0.9 \pm 1.4$  en *Litsea* (Cuadro 2). El subgénero *Agave* presenta varios centros de diversidad o regiones con una elevada riqueza en Chiapas (Costa del Pacífico y Soconusco), Tehuacán-Cuicatlán, Sierra Madre del Sur, y en el Desierto de Sonora. *Litsea* presenta su mayor riqueza solamente en el lado oriental de la República Mexicana: Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Los cuadrados con una riqueza mayor que 7 especies se seleccionaron para que hubiese un conjunto de buen tamaño del cual priorizar áreas bajo el criterio de complementariedad (Cuadro 3). El total acumulado de especies que estos cuadrados contienen es igual a 66, lo que significa un 57.4% del total de especies en México. En este cuadro se puede observar que la acumulación de especies nuevas es muy pronunciada al principio y decae rápidamente, pues con los primeros cinco cuadrados se tiene el doble de especies acumuladas de los que se obtienen con los nueve subsiguientes; por lo tanto, no son necesarias todas las áreas elegidas inicialmente para proteger el total de las especies que contienen.

#### **rareza o microendemismos**

El análisis de frecuencias del tamaño de área que abarcan las especies de *Agave* (figura 6) nos muestra que ésta tiene una distribución bimodal, en donde 59.1% (68 especies) del género *Agave* tiene una distribución muy restringida, de 1 a 3 cuadrados. Lo anterior significa que cada especie tiene una distribución total menor a 36 100 km<sup>2</sup>, es decir, que se encuentran en un área menor de 2% del territorio nacional, por lo que podemos considerarlas microendémicas o raras. La lista de estas especies se puede consultar en el Apéndice 3. En contraste, únicamente 3.5% de las especies ocupa 20 cuadrados o más, equivalentes a cerca de 242 000 km<sup>2</sup>, un área de aproximadamente 12% del territorio nacional.

Hay que considerar que quizás el número de especies microendémicas se encuentre sobreestimado debido a que las especies que se encuentran cercanas a la frontera se catalogaron como especies de distribución muy restringida, mientras que posiblemente su distribución real sea mayor. Sin embargo, como en el presente estudio sólo se consideraron a las especies dentro del territorio nacional, el análisis es válido en el sentido de que son especies raras en México.

En el mapa del patrón de especies microendémicas del género *Agave* (figura 7) se puede apreciar que 30.6% de los cuadrados contiene especies raras -aquéllas cuya distribución es  $\leq$  3 cuadrados- y se encuentran en las cadenas montañosas, principalmente en el Eje Neovolcánico y en la vertiente oriental del país, Sierra Madre del Sur y en Chiapas (Costa del Pacífico, Soconusco y Altos). En la zona occidental el patrón se encuentra subdividido en parches discontinuos. Se puede observar que existen muy pocas especies microendémicas en el Altiplano Norte (Chihuahuense) y que no hay ninguna en la península de Yucatán. También se puede notar que la cuarta parte de los cuadrados que contienen especies microendémicas

presentan al menos dos especies de este tipo, los cuales se concentran en el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre del Sur, Costa del Pacífico del sur de Oaxaca y en Chiapas.

**Cuadro 3.** Áreas (cuadrados) con mayor riqueza ordenadas por jerarquía según el análisis de complementariedad.

Cuadrado	spp nuevas	TA
O20	15	15
F8	8	23
H17	7	30
Q24	7	37
N17	7	44
M18	4	48
M14	4	52
Q22	3	55
F10	3	58
P20	2	60
K17	2	62
K18	2	64
N18	1	65
F9	1	66
J18, M19, P21, Q21	0	66

Cuadrado = área particular; spp nuevas = número de especies nuevas que aporta cada cuadrado, y TA = total de especies acumulado por la suma de los cuadrados seleccionados.

En un análisis por subgéneros, se observa que 62.7% de las especies de *Littaea* tiene distribución muy restringida y 56.2% en el caso de *Agave*. Los patrones de distribución de especies microendémicas por subgénero (figuras 8 y 9) revelaron que ambos subgéneros ocupan una cantidad similar de cuadrados con especies raras, 44 en el caso de *Littaea* y 48 en el de *Agave*, lo cual, en términos de proporción de su distribución significa 41.5% y 30.6%, respectivamente. *Littaea* presenta muy pocas especies de este tipo en el Altiplano y en la mitad septentrional del país, tiene pocos cuadrados con especies de distribución muy restringida en la parte occidental (Desierto Sonorense, Sierra Madre Occidental y Eje Neovolcánico) y presenta un patrón continuo en la región oriental. Las especies raras de *Agave* tienen una distribución discontinua y notoriamente más abundante sobre las montañas

de la costa occidental y Baja California, con su mayor concentración de especies raras por cuadrado en la Costa del Pacífico de Chiapas y el Soconusco, aunque presenta algunas especies microendémicas en el Altiplano y en el límite septentrional de la Sierra Madre Oriental.

La selección de los cuadrados más relevantes para las especies microendémicas, así como los cuadrados jerarquizados, se detalla en el Cuadro 4.

### **diversidad de grupos taxonómicos**

En el mapa general de diversidad de grupos taxonómicos (figura 10) se puede observar que la mayoría (76.7%) de los cuadrados que tiene presencia de especies de *Agave* presenta pocos grupos taxonómicos, es decir de 1 a 3 grupos; mientras que sólo 11.9% contiene un elevado número de grupos taxonómicos, con la presencia de 5, 6 y 7 grupos. El promedio de grupos taxonómicos y su desviación estándar por cuadrado es de  $2.5 \pm 1.5$ .

El patrón de la diversidad taxonómica muestra que las zonas de mayor diversidad de formas del género *Agave* están en el lado oriental y el centro de la República, en la Sierra Madre Oriental, parte del Altiplano Sur, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, con un par de excepciones en el lado oeste que corresponden al Desierto de Sonora, Sierra Madre Occidental y Eje Neovolcánico.

Sólo hay un cuadrado con el máximo de densidad de grupos taxonómicos, el O20 con 7 grupos, que corresponde a la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Las regiones con menor diversidad taxonómica son el Altiplano Norte, Baja California, la península de Yucatán y en general la parte occidental del país. Los cuadrados con mayor diversidad taxonómica se detallan en el Cuadro 5.

Al analizar el patrón por subgéneros (figuras 11 y 12) observamos que *Litsea* presenta menor densidad de grupos por área con un máximo de 3 grupos taxonómicos por cuadrado, mientras que *Agave* presenta hasta 5 grupos por cuadrado, lo cual es consistente con el hecho de que el subgénero *Agave* tiene mayor número de grupos taxonómicos que *Litsea*. Sin embargo, el patrón de distribución y abundancia de éstos difiere bastante, pues en el caso de *Litsea*, 11.3% de los 106 cuadrados que ocupa tienen su máximo de diversidad taxonómica (3 grupos taxonómicos) distribuidos en el este del país, a excepción del cuadrado F9, correspondiente al límite septentrional de la Costa del Pacífico que colinda con la Sierra Madre Occidental. En contraste, en el subgénero *Agave* sólo 3.8% de los cuadrados presentan 4 o 5 grupos taxonómicos, los cuales se distribuyen en el Eje Neovolcánico, valle de Tehuacán-Cuicatlán y su parte colindante con la Sierra Madre del Sur y la Depresión del Balsas, y en Durango, un cuadrado en donde colindan la Sierra Madre Occidental con el Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) y Norte (Chihuahuense).

El análisis de complementariedad con los cuadrados de alta diversidad taxonómica (5-7 grupos taxonómicos), mostró que con sólo 4 cuadrados se tienen representados todos los grupos taxonómicos propuestos por Gentry (1982) que se encuentran en ellos, sin embargo, no están representados todos los grupos que se tienen en México debido a que tres de ellos se distribuyen en regiones de mediana o baja diversidad taxonómica, y por lo tanto, no se

encontraban en el conjunto a partir de la cual se realizó el análisis de complementariedad (Cuadro 5).

**Cuadro 4. Selección de las áreas más relevantes para el criterio de rareza.**

Cuadrados por orden de prioridad

Cuadrado	1□	2□	3□	TA
O20	5	2		7
Q24	2	3	2	14
P19	2	1		17
L13, M14	2			21
N17	1	2	1	25
Q22	1	2		28
C5	1	1	1	31
Q25	1	2	2	33
K12, N20	1	1		37
P20	1	1		38
H17	1		2	41
C2, H16, I16, P23	1			45

1□ = especies presentes en 1 cuadrado, 2□ = especies presentes en 2 cuadrados, 3□ = especies presentes en 3 cuadrados, TA = total de especies raras acumuladas. Los criterios de selección se explican en el texto.

Estos grupos son Deserticolae -que se distribuye únicamente en Baja California Sur-, Campaniflorae -en toda la península de Baja California y el Noroeste de Sonora- y Sisalanae -representado únicamente por *A. kewensis* que se distribuye en un solo cuadrado, el Q24 Soconusco y Costa del Pacífico, Chiapas-.

Por esta razón se integraron a la selección de las áreas más relevantes para el criterio de diversidad taxonómica y así se obtuvo la representación de todos los grupos taxonómicos. En el Cuadro 5 se observan los cuadrados por orden de jerarquía.

**diversidad filogenética**

La matriz de las características morfológicas que se usó para construir la filogenia de los grupos taxonómicos se puede observar en el Apéndice 4. Se obtuvieron dos árboles sin politomías, igualmente parsimoniosos, de los cuales se seleccionó uno al azar. La filogenia

construida resultó bastante sólida, como lo denota el valor de los índices de consistencia (CI = 0.809), cuya distribución varía entre el 0 y el 1 cuando alcanza su valor máximo.

**Cuadro 5.** Selección de los cuadrados relevantes para el patrón de diversidad de grupos taxonómicos.

Cuadrados con elevada diversidad de grupos taxonómicos. (1)	Cuadrados ordenados por jerarquía (2)		
	Cuadrado	GN	TA
C5, F8, F9, F10, G16, I17, I13, J18, K17, M14, M18, N14, N17, N18, O19 O20, P20 y Q22	O20	7	7
	F9	5	12
	G16 y J8	2	16
	Q24 y J18	1	18
	C5, F8, F10, I17, I13, K17, M14, M18, N14, N17, N18, O19 P20 y Q22	0	18
	Q22		

(1) Cuadrados o áreas seleccionados por presentar entre 5 y 7 grupos taxonómicos, (2) cuadrados o áreas en orden de prioridad seleccionados por complementariedad, GN = grupos taxonómicos nuevos por cuadrado y TA = total de grupos taxonómicos acumulados.

Destaca en el árbol de la filogenia de los grupos taxonómicos (figura 13) que *Manfreda* sea una de las ramas más recientes del género *Agave*, en lugar de representar un grupo externo como ocurre con *Yucca*, *Furcraea* y *Beschorneria*. Sin embargo, esto no es extraño, dado que varios trabajos basados tanto en características moleculares como morfológicas que han propuesto una filogenia de la familia Agavaceae (Eguiarte, *et al.*, 1994; Eguiarte, 1995; Hernández, 1995; Eguiarte *et al.*, 2000) indican que *Manfreda* es parte de *Agave*. También se puede observar que el grupo taxonómico Choritepalae perteneciente a *Littaea* resulta ser el taxón más primitivo, a partir del cual la filogenia se divide en tres grandes grupos. De arriba hacia abajo, el primero es principalmente el grupo de los *Littaea*, aunque de la rama más primitiva sale *Manfreda*. El otro grupo tiene 7 grupos taxonómicos de *Agave* y uno de *Littaea*. El tercero agrupa a 3 taxones únicamente del subgénero *Agave*, que podríamos llamar "núcleo-agaves".

Los índices de representatividad de la filogenia o índices de May (1990) están contenidos en el Cuadro 6. Como ya habíamos mencionado en la introducción, el método de May otorga mayor peso relativo a los taxones más primitivos, en este caso Choritepalae, el taxón basal, presenta un índice de filogenia igual a 22.42%, seguido por Deserticolae, con 7.47%. Los demás valores fluctúan entre 2.80 y 5.61% de la filogenia total.

Una vez obtenidos los índices de filogenia por grupo taxonómico, se ponderó el porcentaje que le corresponde a cada especie. Para obtener el porcentaje total de filogenia por

cuadrado, se sumaron los valores asignados para cada especie presente. Dichas sumas muestran gran amplitud de valores de diversidad filogenética. El valor más pequeño, presentado por 7 cuadrados corresponde a 0.12%, y a su vez, el valor máximo alcanzado por área es de 10.89% y se encuentra en el cuadrado H17, un área donde colindan el Altiplano Sur y Norte con la Sierra Madre Oriental. El valor promedio resultó igual a 1.75% con una desviación estándar de 1.86. Por ende, para realizar un mapa inteligible correspondiente a este patrón, fue necesario agrupar los índices de May en categorías (figura 14).

**Cuadro 6.** Cálculos realizados para obtener los índices de May (1990) a partir de la topografía de la filogenia obtenida en la figura 13.

<i>Subgénero</i>	<i>Taxón</i>	No. ramas	PTB	Índice
<i>Littaea</i>	Amolae	12	21.33	3.74
<i>Littaea</i>	Marginatae	12	21.33	3.74
<i>Littaea</i>	Filiferae	16	16.00	2.80
	<i>Manfreda</i>	16	16.00	2.80
<i>Littaea</i>	Polycephalae	14	18.29	3.20
<i>Littaea</i>	Parviflorae	12	21.33	3.74
<i>Littaea</i>	Urceolatae	8	32.00	5.61
<i>Agave</i>	Deserticolae	6	42.67	7.47
<i>Littaea</i>	Striatae	10	25.60	4.48
<i>Agave</i>	Campaniflorae	10	25.60	4.48
<i>Agave</i>	Marmoratae	8	32.00	5.61
<i>Agave</i>	Americanae	16	16.00	2.80
<i>Agave</i>	Rigidae	18	14.22	2.49
<i>Agave</i>	Sisalanae	18	14.22	2.49
<i>Agave</i>	Crenatae	14	18.29	3.20
<i>Agave</i>	Ditepalae	16	16.00	2.80
<i>Agave</i>	Hiemiflorae	16	16.00	2.80
<i>Agave</i>	Umbelliflorae	14	18.29	3.20
<i>Agave</i>	Salmianae	10	25.60	4.48
<i>Agave</i>	Parrayanae	8	32.00	5.61
<i>Littaea</i>	Choritepalae	2	128.0	22.42
	Total	256	570.8	99.99

Para la explicación detallada de la obtención de los valores, consultar el recuadro 4.



También se realizó un histograma de frecuencias de los índices de May (figura 15), el cual nos muestra que el porcentaje de la filogenia presente por cuadrado tiene forma de curva logarítmica decreciente, esto es, que es grande el número de áreas o cuadrados con taxones cuyo valor filogenético es pequeño, mientras que son muy pocos los cuadrados que tienen un elevado valor, aproximadamente del 5 a 11% de la diversidad filogenética.

Como se puede apreciar en el mapa de diversidad filogenética (figura 14) hay regiones con elevados porcentajes filogenéticos en Baja California, Costa del Pacífico de Oaxaca y Chiapas y Soconusco, en la parte septentrional de la Sierra Madre Oriental que colinda con el Altiplano, y en algunas regiones del Eje Neovolcánico. Cabe destacar que en la parte occidental del país prácticamente no hay regiones con elevado valor, es decir, de proporción filogenética en el sentido de May (1990).

La selección de las áreas más relevantes para el patrón filogenético y su jerarquización por el método de Faith (1992) simplificado (Arita y Santos del Prado, 1999) se detallan en el Cuadro 7. La ordenación de las áreas por rango mostró variación de más del doble del número mínimo de ramas que unen a los grupos morfológicos para los valores extremos: 22 ramas en el caso de O20, P20 y Q22, comparados con el cuadrado J7 que sólo necesita de 9 ramas para unir a los taxones contenidos en él.

### **patrones biogeográficos**

Como se explicó en la introducción, este criterio se analizó únicamente por subgéneros. El patrón de distribución de especies por subgénero está dividido en subpatrones que son regiones caracterizadas por compartir ciertas especies: regiones fitogeográficas. *Littaea* presenta 9 subpatrones (representados con diferente color en la figura 16). Los cuadrados seleccionados se observan en el Cuadro 8, y abarcan desde el noroeste de la República, en Sonora, hasta el sureste en Chiapas. No hay agaves de este subgénero en Baja California, aunque *L. pelona* se alcanza a distribuir en algunas islas del Mar de Cortés. Es muy notorio como *Littaea* se ha distribuido principalmente en las laderas de las cadenas montañosas del país. También destaca el hecho de que los subpatrones tienen una disposición diagonal en lugar de estar concentrados en una misma latitud, esto es, guardan mayor relación entre sí en la composición de especies con cuadrados de latitudes diferentes -hasta de 11 grados de diferencia- que con los cuadrados vecinos (por ejemplo, observar subpatrones 5 y 14 de las figuras 16 y 17 respectivamente).

Aunque se puede señalar que en la zona correspondiente al Desierto Sonorense, los subpatrones son más pequeños y sí se encuentran concentrados en dicha región. Las regiones donde más tienden a mezclarse varios patrones son el Desierto Sonorense y la parte centro-oriental del país. En general, los subpatrones son más bien pequeños, de 3, 4 y 5 cuadrados, mientras que el subpatrón más extendido, el 4, abarca 22 cuadrados en la parte este del Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) y en la Sierra Madre Oriental.

El subgénero *Agave* también presenta 9 subpatrones, como se puede ver en la figura 17. La distribución que tienen en el país es más grande que la de *Littaea*, ya que se extiende desde Baja California hasta el norte de Chiapas, y en general, los subpatrones ocupan un área mayor. Por otro lado, se puede observar que su distribución recorre la cara interna (las laderas) de las cadenas montañosas y el Altiplano, así como la Depresión del Balsas y el Eje

Neovolcánico por lo que tiene un patrón de distribución más central que *Littaea*, que tiende a bordear las costas. De manera similar a *Littaea*, en varios subpatrones se puede observar la tendencia a dispersarse o distribuirse en forma diagonal (noroeste-sureste). Los subpatrones tienden a mezclarse en la región central del país, y por el contrario, están muy definidos aquellos que se encuentran en Baja California.

### Integración de los resultados de los distintos patrones de diversidad

Para obtener un índice que integrara los patrones de diversidad, se les asignó valores de importancia relativa a los cuadrados seleccionados por patrón de diversidad de 0 a 1, en donde 1 representa el valor más alto. Con dichos valores relativizados se construyó una matriz que los ordena por áreas. De este modo, la suma global de cada área es la suma de las importancias relativas por parámetro de diversidad y se pueden observar en el Cuadro 8. Al criterio de patrones geográficos se le otorgó un valor único igual a 0.2 debido a que no presenta jerarquías o rangos, como ya se explicó en el capítulo anterior, y a que son 5 criterios los que se consideran en el presente estudio (0.2 es la quinta parte de uno).

**Cuadro 7.** Comparación de las áreas seleccionadas por su alto grado de diversidad filogenética, antes y después de haber sido jerarquizadas.

Cuadrados con elevada proporción de filogenia		Cuadrados jerarquizados por el método de Faith (1992) simplificado (Arita y Santos del Prado, 1999)	
cuadrado	índice de May	cuadrado	Nº de ramas
H17	10.89	O20, P20 y Q22	22
N17	10.10	I17	20
G16 y Q22	10.09	H17	18
I17	9.33	N17	17
Q23	7.82	Q23	14
O20	5.28	G16	11
P20	5.20	J7	9
J7	4.97		

Los cuadrados con elevada proporción de filogenia son aquellos correspondientes a las dos últimas categorías del histograma (fig. 15) que presentan los valores de la suma de índices de May (1990) más elevados; los cuadrados jerarquizados por el método de Faith (1992) simplificado (Arita y Santos del Prado, 1999), se seleccionaron de acuerdo al número mínimo de las ramas que unen a los taxones, lo cual indica que mientras mayor sea el número de ramas se tenga, más lejanos son los grupos taxonómicos entre sí. El orden es decreciente.

Al observar detenidamente el Cuadro 8, notamos que el cuadrado O20 correspondiente en gran parte a la región de Tehuacán-Cuicatlán obtuvo el máximo valor posible: 4.2, doblando numéricamente al cuadrado que le sigue, el N17 con una suma total de 2.15. Vale la pena destacar que únicamente el área O20 tuvo valores relativos para todos los parámetros. En

general, las áreas importantes para los patrones de diversidad son distintas y coinciden poco: sólo uno de los 35 cuadrados o áreas seleccionadas resultó relevante para los cinco parámetros (equivalente a 3%); 2 cuadrados lo fueron para cuatro (6%); 9% lo fue para 3 tipos de diversidad, casi una cuarta parte fue significativa para dos criterios (26%) y más de la mitad eran relevantes para un único parámetro (57%).

Se seleccionó tentativamente a las 9 áreas con la mayor suma total de valores de diversidad, para analizar la posibilidad de que constituyeran las áreas prioritarias para la conservación de los agaves. El sesgo considerado para seleccionar únicamente a estas 9 áreas fue que tuvieron un valor por arriba de uno en la suma global. Además, a excepción de los cuadrados M14 y F8, el resto de los cuadrados elegidos tiene una importancia relativa para al menos tres variables de diversidad.

Esta suma de valores, a pesar de ser una consideración de peso, no es suficiente para otorgarles un rango a las áreas que se propone proteger. Es necesario tomar en cuenta otros aspectos, como qué especies contenidas en dichas áreas se encuentran dentro de alguna área natural protegida, si coinciden con las zonas reconocidas por la Conabio (Arriaga et al., 2000) como "regiones prioritarias terrestres", o si los cuadrados elegidos tienen especies listadas en la NOM-059-ECOL-2001 en alguna categoría de riesgo. Podemos observar en el Cuadro 9 la evaluación de dichos criterios.

Las áreas revisadas por medio de la integración de los aspectos mencionados anteriormente (junto a la suma de los valores presentados para los distintos parámetros de diversidad) son la síntesis de este estudio y se denominan "áreas consenso" dado que integran un último orden de prioridades para la conservación. Éstas son áreas en las que se recomienda enfocar esfuerzos de conservación in situ.

El cuadrado O20 que resultó sin duda la primera prioridad, debido a que es la zona con mayor diversidad global (elevadísima con respecto a las demás), contiene una gran parte del valle de Tehuacán-Cuicatlán que se encuentra decretado como un área natural protegida desde el 18 de septiembre de 1998 ([www.ine.gob.mx/ucanp/listaanpalfa.php](http://www.ine.gob.mx/ucanp/listaanpalfa.php).3). A pesar de que constituye una de las Reservas de la Biósfera de mayor tamaño en México, lamentablemente, en muchos casos en los países en desarrollo, el hecho de que se decrete cierta área como zona protegida no garantiza que se proteja lo que está dentro de ella. Sin lugar a dudas se deben orientar los esfuerzos de protección de los agaves in situ principalmente en esta región, ya que se han reportado daños a plántulas de Agave y otras especies suculentas por la presencia de ganado caprino (Cardel et al., 1997; Arizaga et al., 2000a) y se tiene conocimiento de múltiples amenazas que afectan la región (Vales et al., 2000). Dado que el área natural protegida Tehuacán-Cuicatlán se encuentra ubicada a lo largo de P20 y O20 y requiere una atención integral, se decidió cambiar de prioridad a P20 para considerarla junto a O20 una unidad espacial, la que necesita mayor atención.

Al analizar cuidadosamente los cuadrados F8 y F9, se observó que comparten un gran número de especies y al revisar el Cuadro 8 se observa que F9 presenta una importancia relativa para tres criterios y F8 para dos, aunque el valor de riqueza de F8 es mucho mayor que el de F9, pero eso se debe a que se obtuvo por complementariedad, por lo que de haber

**Cuadro 8.** Integración de los resultados de los patrones de diversidad.

cuadrado	riqueza	Rareza	gpo. tax	filog	biog	SUMA
O20	1	1	1	1	0.2	4.200
N17	0.714	0.667		0.571	0.2	2.152
Q22	0.5	0.583		1		2.083
Q24	0.786	0.917	0.25			1.953
H17	0.857	0.167		0.714	0.2	1.938
P20	0.357	0.25		1		1.607
M14	0.571	0.75				1.321
F8	0.929				0.2	1.129
F9	0.071		0.75		0.2	1.021
I17				0.857		0.857
P19		0.833				0.833
G16			0.5	0.286		0.786
L13		0.75				0.750
C5		0.5			0.2	0.700
J8			0.5		0.2	0.700
M18	0.643					0.643
N20		0.333			0.2	0.533
J18			0.25		0.2	0.450

Los valores relativos por tipo de diversidad se ordenan por columnas en donde riqueza = parámetro de riqueza, rareza = parámetro de rareza, gpo. tax = parámetro de diversidad de grupos taxonómicos, filog = parámetro de diversidad filogenética, biog = parámetro de patrones biogeográficos, y SUMA = a la suma total de los valores acumulados por cuadrado y denota su importancia en términos de posibles prioridades para la conservación.

considerado a F9 antes que a F8 el elevado valor de riqueza lo tendría la primera. También se consideró que la región F9 tiene una especie amenazada y dos especies de distribución restringida, mientras que no se distribuyen especies de este tipo en F8, razones por las que se decidió incluir únicamente a F9 como área consenso.

No se decidió cambiar el orden de prioridad de las demás áreas debido a que todas presentan una situación ambivalente de los distintos factores considerados en la evaluación. Se consideró:

- a) que un área que presenta un mayor número de especies dentro de áreas naturales protegidas, tiene menos urgencia por su conservación que otra que tiene menor proporción de sus especies resguardadas
- b) que un área que presenta mayor proporción de áreas prioritarias terrestres que otra, tiene menor prioridad puesto que ya debe estar recibiendo cierta atención en cuanto a conservación
- c) un área que tenga más especies listadas en la NOM-059-ECOL-2001 tiene mayor urgencia para su conservación
- d) darle mayor peso a aquéllas que tengan más especies microendémicas y a las que aporten mayor número de especies nuevas. Si bien es cierto que de este modo se le otorga doble importancia al criterio de microendemismos, se justifica si consideramos que dependen enteramente de una microrregión y comúnmente las especies endémicas están entre los componentes vulnerables de una comunidad (Mittermier *et al.*, 1998), adicionalmente estas especies han sido objeto de los esfuerzos tradicionales de conservación.

Recapitulando, como las áreas adquirirían mayor importancia en ciertos aspectos y dejaban de tenerlos con respecto a otros, prácticamente no se volvieron a reordenar.

En total, con las 8 áreas consenso se protegerían 53 especies de las 115 analizadas, esto es 48% (se pueden observar en el Cuadro 9). Asimismo, con las áreas propuestas, se conservarían 9 de las 18 especies listadas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (Diario Oficial de la Federación 06/03/02) de las cuales se protegería 100% de las que están catalogadas en peligro de extinción, 50% de las que están amenazadas y 33% de las sujetas a protección especial (originalmente consideradas como raras en la versión de la norma de 1994).

Finalmente, la jerarquía de las áreas consenso se establece de la siguiente manera:

**O20- P20, N17, Q22, Q24, H17, M14 y F9** ubicadas respectivamente en Puebla-Oaxaca (Tehuacán-Cuicatlán y Sierra Madre del Sur), Estado de México (Eje Neovolcánico), Oaxaca (Sierra Madre del Sur y Costa del Pacífico), Chiapas (Costa del Pacífico, Soconusco, Golfo), Nuevo León-Coahuila (Altiplano Norte y Sur y Sierra Madre Occidental), Jalisco (Eje Neovolcánico) y Sonora-Chihuahua (Sierra Madre Oriental, Costa del Pacífico). La figura 18 nos muestra su ubicación en la República Mexicana. La distribución de las áreas resalta por concentrarse de la mitad de México hacia el sur y también, básicamente, del lado occidental del país. Esto no quiere decir que no se deban conservar otros sitios como lo argumentaremos en la discusión; la conservación tiene múltiples herramientas y la solución a todos los problemas no se resuelve únicamente con grandes áreas naturales protegidas.

**Cuadro 9.** Aspectos considerados para determinar la jerarquía de las áreas consenso.

Área selecciona da	Especie	Categorías de riesgo	Ubicación	% de especies presentes en una ANP	% de cobertura áreas prioritarias terrestres	Micro- endémicas	Nuevas	TA
O20	<i>Agave angustifolia</i> *							
(4.20)	<i>A. atrovirens</i> *		Puebla-Oaxaca	100	62	7	15	15
	<i>A. scaposa</i> *		(Eje			5		
	<i>A. ghresbeghtii</i> *		Neovolcánico,		Tehuacán-			
	<i>A. karwinskii</i> *		Depresión del		Cuicatlán,			
	<i>A. kerchovei</i> *		Balsas, Sierra		Perote-Orizaba			
	<i>A. macroacantha</i> *		Madre del Sur		y Sierra Granizo			
	<i>A. macroculmis</i> *		y Valle de					
	<i>A. marmorata</i> *		Tehuacán)					
	<i>A. peacockii</i> *	Pr NOM-059						
	<i>A. potatorum</i> *							
	<i>A. salmiana</i> *							
	<i>A. stricta</i> *							
	<i>A. titanota</i> *							
	<i>A. triangularis</i> *							
N17	<i>A. hookeri</i> *							
(2.15)	<i>A. cupreata</i> *		Estado de	63	28	4	7	22
	<i>A. angustifolia</i> *		México			1		
	<i>A. inaequidens</i> *		(Eje		Cerro			
	<i>A. attenuata</i>		Neovolcánico)		Trompetero-			
	<i>A. bakeri</i>				Cuitzeo-Sierra			
	<i>A. ellematiana</i>				de Chicua			
	<i>A. angustiarum</i> *							
Q22	<i>A. angustifolia</i> *							
(2.08)	<i>A. marmorata</i> *		Oaxaca	57	59	3	3	25
	<i>A. pigmea</i>		(Sierra Madre		Sierra Mixe-La	1		
	<i>A. potatorum</i> *		del Sur y Costa		Ventosa y Sierra			
	<i>A. angustiarum</i> *		del Pacífico)		Sur y Costa de			
	<i>A. guiengola</i>	amenazada NOM-059			Oaxaca			
	<i>A. nizandensis</i>	en peligro NOM-059						

Área selecciona da	Especie	Categorías de riesgo	Ubicación	% de especies presentes en una ANP	% de cobertura áreas prioritarias terrestres	Micro- endémicas	Nuevas	TA
Q24 (1.95)	<i>A. angustifolia</i> * <i>A. breedlovei</i> * <i>A. hiemiflora</i> <i>A. isthmensis</i> <i>A. kewensis</i> <i>A. pachycentra</i> <i>A. seemanniana</i> <i>A. pendula</i>	Pr NOM-059	Chiapas (Costa del Pacífico, Soconusco y Golfo)	25	25 Sepultura- 3 Picos-El Baúl, El Suspiro- Buena vista-Beriozabal, La chacona- Cañón del Sumidero	7 2	7	32
H17 (1.94)	<i>A. americana</i> * <i>A. macroculmis</i> * <i>A. montana</i> <i>A. salmiana</i> * <i>A. bracteosa</i> <i>A. lechuguilla</i> * <i>A. lophanta</i> * <i>A. striata</i> * <i>A. victoriae-reginae</i>	amenazada NOM-059  en peligro NOM-059, apéndice II CITES	Nuevo León- Coahuila (Altiplano Norte y Sur y Sierra Madre Occidental)	78	27  Sierra de Arteaga, Toldo	3 1	7	39
P20 (1.61)	<i>A. americana</i> * <i>A. atrovirens</i> * <i>A. angustifolia</i> * <i>A. lurida</i> <i>A. marmorata</i> * <i>A. potatorum</i> * <i>A. salmiana</i> * <i>A. scaposa</i> * <i>A. kerchovei</i> * <i>A. petrophila</i>	en peligro NOM-059	Oaxaca (Sierra Madre del Sur, Eje Neovolcánico y v Valle de Tehuacán)	80	55  Tehuacán- Cuicatlán, Sierra de Tidas, Sierra de Trique, Sierra de Granizo	2 1	2	41

Área seleccionada	Especie	Categorías de riesgo	Ubicación	% de especies presentes en una ANP	% de cobertura áreas prioritarias terrestres	Micro- endémicas	Nuevas	TA
M14 (1.32)	<i>A. americana</i> * <i>A. angustifolia</i> * <i>A. guadalupana</i> <i>A. maximiliana</i> <i>A. stringens</i> <i>A. schidigera</i> * <i>A. vilmoriana</i> *		Jalisco (Eje Neovolcánico)	57	0	2	5	46
F8 (1.13)	<i>A. angustifolia</i> * <i>A. bovicornuta</i> <i>A. colorata</i> <i>A. jaiboli</i> <i>A. rhodacantha</i> <i>A. shrevei</i> * <i>A. woocomahi</i> * <i>A. felgeri</i> * <i>A. vilmoriana</i> *		Sonora (Sonorense, Sierra Madre Oriental y Costa del Pacífico)	56	2	0	7	53
F9 (1.02)	<i>A. bovicornuta</i> <i>A. jaiboli</i> <i>A. rhodacantha</i> <i>A. shrevei</i> * <i>A. woocomahi</i> * <i>A. multiflora</i> <i>A. polianthiflora</i> * <i>A. vilmoriana</i> *	amenazada NOM-059	Sonora- Chihuahua (Sierra Madre Oriental y Costa del Pacífico)	50	9	2	2	55
					Sierra de Álamos			
					Cañón de Chinipas, Sierra de Álamos			

Áreas seleccionadas = los 9 cuadrados con mayor diversidad global, cuyo valor se encuentra entre paréntesis; Especie = las especies presentes por cuadrado, aquellas con un asterisco se encuentran representadas en al menos un área natural protegida; en la columna de categorías de riesgo, aquellas abreviadas como Pr se encuentran sujetas a protección especial según la norma NOM-059-ECOL-2001; % de especies presentes en un ANP = la proporción de especies por cuadrado que está representada dentro de áreas naturales protegidas; % de cobertura de áreas prioritarias terrestres = la proporción dentro del cuadrado de alguna área prioritaria terrestre definida por Conabio (Arriaga *et al.*, 2000); Microendémicas = número de especies de distribución muy restringida, en negritas se encuentran las especies de distribución única; Nuevas = número de especies complementarias que aporta cada cuadrado; TA = total acumulado de especies de acuerdo al orden de selección, si se diera la protección de las áreas.



### Correlación de los parámetros considerados

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las áreas seleccionadas por patrón para saber si el esfuerzo de integración de parámetros no fue rebasado por sí mismo, si por ejemplo, dos parámetros se parecen tanto que en el futuro pueda ahorrarse el estudio de uno de ellos. Los valores posibles del análisis van de  $-1$ , cuando se tiene una correlación inversa total, a  $1$  cuando ésta es positiva. De los resultados del análisis de correlación de Pearson (Cuadro 10) se puede observar que sólo la riqueza y la rareza, y la riqueza y la diversidad filogenética, obtuvieron correlaciones significativas. Las que por cierto, fueron positivas y alcanzaron los valores más altos del análisis, de  $0.37$  y  $0.36$  respectivamente. A su vez, sólo hubo dos valores negativos -bastante bajos- relativos a la diversidad biogeográfica *versus* rareza y filogenia. En general todas las correlaciones son débiles o pequeñas y presentan valores menores a  $0.4$ .

**Cuadro 10.** Índice de correlación de Pearson de las áreas seleccionadas por su importancia relativa para los distintos parámetros de diversidad.

variable	riqueza	rareza	grupos taxonómicos	filogenética	biogeográfica
riqueza	-	0.3739*	0.0153	0.3646*	0.2366
rareza		-	0.1688	0.0458	-0.2244
grupos taxonómicos			-	0.1717	0.3037
filogenética				-	-0.175
biogeográfica					-

\* correlación significativa ( $p < 0.05$ ),  $n = 35$ .

*Se empieza a saber  
que sólo sirven las lámparas  
que congregan a las sombras*  
Jorge Teillier

### Riqueza

Es llamativo que  $\frac{3}{4}$  partes de los cuadrados que cubren el país cuenten con la presencia de al menos una especie de *Agave*, aunque en su mayoría éstos presentan concentraciones menores a 3 especies. El conocimiento de la riqueza de *Agave* necesita afinarse cuantitativamente, conocer mejor los patrones de su abundancia y del posible efecto de la falta de colecta sistemática y ordenada. En el trabajo de García-Mendoza y Galván (1995) se indica que 50% de las especies del género tenía menos de 5 ejemplares de herbario. Lo anterior nos permite suponer que existe un fuerte sesgo debido a la falta de colecta sistemática en el género *Agave*. En otros grupos más colectados en México (cactáceas columnares y mariposas, por ejemplo) se han realizado estudios que ponen a prueba esta relación y se ha encontrado una correlación positiva y significativa para abundancia, riqueza y el esfuerzo de colecta (Ezcurra, 1995; Soberón *et al.*, 2000). Es muy importante que se incrementen los trabajos de colecta científica del género en todo el país de modo coordinado o que se desarrolle un megaproyecto de colecta científica ordenada y sistemática que acabe con el problema referido.

### Rareza

A partir de la forma del histograma de la distribución de frecuencias se decidió que las especies microendémicas serían aquellas con una distribución igual o menor a 3 cuadrados. El resultado hubiese sido idéntico si se hubiese considerado la mediana para definir las especies restringidas y las de amplia distribución tal como lo hicieron Arita *et al.* (1997). Esto se traduce a que las especies microendémicas se distribuyen en un área menor a 2% del territorio nacional. Es importante destacar que la nueva norma oficial mexicana que determina el riesgo de especies silvestres, la NOM-059-ECOL-2001, considera que uno de los múltiples factores de vulnerabilidad de una especie es su escasa distribución y pone énfasis en aquellas especies que poseen una distribución igual o menor a 5% del territorio nacional. Si ese hubiese sido nuestro parámetro inicial, hubiésemos considerado a 103 de las 115 especies de *Agave* como raras o de distribución restringida. Esto no quiere decir que no sean restringidas en su distribución; sin embargo, dado que son cerca de 90% de las especies silvestres y adicionalmente cerca de 75% de las especies son endémicas, si se usara sólo este parámetro -como lo han hecho muchos estudios para determinar las áreas a proteger (Arita, 1993; Hodgson y García-Mendoza, 1997; Mittermeier *et al.*, 1998)- sería una situación difícil de priorizar. Pero dado que el ámbito de distribución de los agaves realmente es muy pequeño, se consideró también en los aspectos posteriores a la determinación de los patrones de diversidad. Aun así, se debe entender que la distribución restringida es uno de los múltiples factores de vulnerabilidad de un taxón -si bien uno de alto peso relativo, como lo determina la NOM-059- pero no el único que determina su riesgo de extinción. Es oportuno conocer con mayor detalle la condición de las poblaciones de las especies de *Agave* en estado silvestre en México para establecer un programa de seguimiento de aquéllas que se

encuentren en lugares o sitios que enfrenten alto riesgo de desaparecer y poder tomar las medidas necesarias para que esto no suceda. Evidentemente, más allá de las especies que se sugiere proteger dentro de las 8 áreas consenso, se debe proteger a otras de escasa distribución *in situ*, así como es necesario aumentar el acervo y la conservación *ex situ* de gran parte del género.

Es factible pensar que el alto nivel de restricción en la distribución del género se deba a una elevada adaptación local, más que a problemas de dispersión, ya que el género cubre gran parte del país. Esto quedaría reforzado por el hecho de que abarca gran cantidad de hábitats; puede estar en bosques de niebla o de pino encino, hasta en ambientes más secos donde se concentra la mayor riqueza. También podemos señalar que la especie silvestre que abarca mayor espacio territorial (50 cuadros, el equivalente a 31% de la república) *Agave angustifolia*, es en opinión de García-Mendoza (com.pers.) un complejo de especies aún no estudiadas.

### **diversidad de grupos taxonómicos**

Los criterios de grupos taxonómicos y de diversidad filogenética se construyeron con las divisiones en grupos taxonómicos que Gentry (1982) propuso para los agaves. Aunque la taxonomía y sistemática de los agaves es un problema aún no resuelto completamente (Hodgson, 1997; Eguiarte y García-Mendoza com.pers.), el trabajo de Gentry es el trabajo más completo disponible actualmente. Los criterios de diversidad de grupos taxonómicos y de diversidad filogenética se establecieron por separado, puesto que el primero se refiere a la forma, tamaño, tipo de inflorescencias (e indirectamente a su fisiología y papel en el ecosistema), etcétera y el segundo, aunque está basado únicamente en caracteres morfológicos, es una hipótesis de relaciones ancestrales que posteriormente se valora de manera diferencial aunado a que considera qué tan lejanos son entre ellos para establecerles prioridad. De hecho, los cuadrados o áreas seleccionados como los más importantes para cada uno de estos dos criterios difieren bastante (sólo comparten dos cuadrados: el O20 que resultó ser el más relevante para todos los análisis y el G16, pero con distinto grado jerárquico, Cuadro 8 y Cuadro 10).

Resulta extraño que haya una especie de distribución única que sea a su vez la única representante silvestre del grupo taxonómico *Sisalanae* -en realidad integrado por 4 especies presentes en México, 3 de las cuales se descartaron del estudio por ser especies ampliamente manipuladas por el hombre (*e.g. Agave sisalana*) y por ende su patrón natural podría ser un artefacto-. Su particularidad morfológica y su escasa distribución podrían interpretarse como una forma que evolucionó hace poco, lo que es consistente con la filogenia de grupos en la cual se encuentra como una de las ramas más derivadas del grupo "núcleo-agave" (el único que únicamente incluye a grupos del subgénero *Agave*). De ser así, éste también podría interpretarse como un indicio de que el género tuvo su radiación adaptativa recientemente.

### **diversidad filogenética**

A pesar de que el conocimiento de la filogenia de la mayoría de los organismos es ambiguo (Donoghue 1999, citado por Ganeshia y Shaankeer, 2000), la conservación es una ciencia en crisis que muchas veces debe basarse en información no específica, ni esperar a que se

precise (Soulé, 1985). Consideramos este parámetro útil y válido, ya que su estructura naturalmente jerárquica permite ordenar consistentemente las prioridades por conservar, además de que probablemente sea el más estudiado de los parámetros alternativos (May, 1990; Vane-Wright *et al.*, 1991; Faith, 1992, 1994; Humphries *et al.*, 1995; Arita y Santos del Prado, 1999; Ganeshiah y Shaanker, 2000). Sería ideal hacer una filogenia con mayor información que separara mejor los grupos, ya que en los cladogramas están combinados los dos subgéneros e inclusive *Manfreda*; pero incluso los esfuerzos con datos moleculares realizados por Luis Eguiarte *et al.* (Eguiarte *et al.*, 1994; Eguiarte, 1995; Eguiarte *et al.*, 2000) presentan a dichos taxones revueltos. Según los autores, esto se debe a la reciente separación de los grupos: 8 millones de años atrás en el caso *Agave* "sensu lato", dentro de ese grupo *Manfreda* desde hace 3 m.a. y *Littaea* hace tan sólo dos (Eguiarte *et al.*, 2000). Es posible que varias características morfológicas del género hayan surgido en su historia evolutiva varias veces y por ello se tenga una filogenia no definida. Está pendiente hacer una filogenia con datos morfológicos y moleculares con más representantes de los que se han analizado hasta ahora.

Sólo una de las divisiones del cladograma tiene taxones hermanos que pertenecen a un mismo subgénero, aquella que podríamos llamar "núcleo-agave", compuesto por Hiemiflorae, Rigidae y Sisalanae. Sus distribuciones están en el Sur del país en Chiapas y Oaxaca en el caso de Hiemiflorae y Sisalanae (Sisalanae sólo se distribuye en un cuadrado presente en Chiapas) y Rigidae abarca desde Baja California Sur hasta Centroamérica. También se puede observar que el grupo taxonómico Choritepalae perteneciente a *Littaea* resulta ser el taxón más primitivo, cuya distribución está disyunta en tres partes: Costa del Pacífico de Oaxaca, zona centro (Depresión del Balsas y Eje Neovolcánico) y zona nororiental (Altiplano Sur, Altiplano Norte y Sierra Madre Oriental). Este hecho coincide con la teoría de que los *Agave* se originaron en el centro del país, como se mencionó en la introducción; aunque es contradictorio con la filogenia molecular de Eguiarte *et al.* (2000), la cual señala a *Littaea* como el taxón más reciente. No obstante, hay que hacer notar que en el análisis molecular sólo se usó una especie representante de *Littaea*, por lo que ese resultado puede no ser determinante.

### patrones biogeográficos

Los subpatrones conformados por cuadrados que se encuentran dispuestos con una orientación noroeste-sureste (es decir, en diagonal) sobre las montañas, están ubicados de manera similar a las especies de *Bursera* (Kohlmann y Sánchez, 1984), lo cual refuerza la hipótesis de que los subpatrones reflejan una dispersión histórica. Lo anterior sugiere que las especies se dispersaron por medio de las cadenas montañosas en posibles complejos. Esto es muy importante también en términos de manejo, pues el hipotetizar que ciertas especies evolucionaron, se adaptaron y migraron en conjunto o separadas pero en condiciones ecológicas similares, requiere un manejo adecuado que no las disgregue (Lovett *et al.*, 2000) o que mantenga dichas condiciones sin ser afectadas, especialmente en el diseño de un área natural protegida.

### limitaciones metodológicas

Debido a que se partió de una base de datos existente (García Mendoza, 1995 más adiciones posteriores del autor) no se determinó cuál puede ser el error en la estimación de la

distribución de los agaves debido a sesgos de colecta, aunque se sabe que sus especies más abundantes y más ampliamente distribuidas son las mejor colectadas (García-Mendoza y Galván, 1995). A su vez, los datos de presencia de *Agave* se encuentran plasmados -o georreferenciados- en mapas convencionales o croquis.

Adicionalmente, los cuadrados (áreas) son en realidad de diferentes tamaños por dos diferentes razones: (1) la deformación de la proyección en el tamaño de la cuadrícula hace que los cuadrados más cercanos al ecuador tengan mayor área que los más lejanos. (2) Los que están en los límites marítimos o geopolíticos no tienen el área del cuadrado completa, dado que muchas veces una buena proporción de su área contenía agua o territorio extranjero. A pesar de que Cotgreave y Harvey (1994) argumentan que la diferencia en tamaño es un artefacto en la distribución de las especies, no se diseñó una cuadrícula que tenga todos los cuadrados del mismo tamaño, ni se trataron de manera especial o eliminaron los de los bordes, ya que los límites naturales o políticos son parte de los patrones estudiados y la diferencia en el tamaño del área debido a la deformación de la Tierra es cercana a 7% entre el cuadrado más alejado de uno ubicado en centro de México, lo cual no se consideró como importante.

El inconveniente que implican escalas grandes es que no se tiene la certeza de que las especies coexistan en un mismo espacio. Si se establecen áreas protegidas de menor tamaño pueden quedar excluidas algunas especies y por ende, las relaciones que se suponían entre ellas. A su vez, cabe la pregunta ¿se pueden proteger áreas de un grado de latitud por un grado de longitud? Si bien hay que contemplar que prácticamente no existen áreas naturales protegidas de ese tamaño en México, excepto por el Vizcaíno que es incluso mayor, con 25,468 km<sup>2</sup>, existen varias reservas terrestres menores, pero de gran tamaño, como el mismo Tehuacán-Cuicatlán con 4,902 km<sup>2</sup>, por ejemplo. Si bien estudios a una escala menor son necesarios, el especificar en qué áreas particulares se deben enfocar estudios más precisos o, mejor dicho, a escala local o microrregional, es un paso importante que ahorra muchos recursos. En el caso de México se presenta la ventaja de que existen múltiples estudios de diferentes grupos taxonómicos que se han realizado a esta escala (mamíferos terrestres y voladores, cactáceas columnares, burseras, etc.), por lo que se facilita la comparación de las áreas seleccionadas por las agencias encargadas de la protección de áreas naturales y de impulsar la conservación de los recursos naturales. En general el conocimiento con orientación específica hacia la conservación ha producido múltiples trabajos que revisan los patrones a grandes escalas tanto a nivel internacional como nacional (Vane-Wight *et al.*, 1991; Figueroa, 1995; Olson y Dinerstein, 1998; Mittermier *et al.*, 1998; Arita y Santos del Prado, 1999, etc.). Esto puede justificarse desde la óptica de Levin (1992) quien recomienda buscar las influencias externas que inducen los patrones a grandes escalas y luego qué los determinan a menor escala, ya que si la escala es muy fina, se tienen características que se difunden después, mientras que a escalas mayores los patrones parecen menos azarosos.

A pesar de todo lo discutido arriba, consideramos que *Agave* es un buen género indicador de áreas por conservar, cuya relevancia y amplia distribución -la cual abarca una gran cantidad de ambientes en México-, satisface las cualidades de especies indicadoras propuestas por Faith y Walter (1996).

### **paradoja entre la importancia del género Agave y su protección**

Paradójicamente, a pesar de la gran importancia que tienen los agaves en México, aún se desconoce la riqueza total de agaves en el país y para ciertas especies sólo se conocen pocos ejemplares de herbario. Parecería obvio que dada la alta representatividad de la familia Agavaceae y en especial a lo conspicuo del género *Agave* y su alto número de endemismos, los agaves debiesen estar mejor estudiados. Ya que esto no es así, es necesario que las instituciones gubernamentales y públicas impulsen esfuerzos dirigidos a un mejor conocimiento de este grupo.

Claramente en un país megadiverso y con escasos recursos para la conservación, como México, la priorización de los planes de conservación se torna difícil y aún más su ejecución. Falta personal en el gobierno que pueda dedicarle la energía necesaria a ello: no hay abasto para la enorme cantidad de grupos o especies que lo necesitan y se opta por las carismáticas (especies que poseen un valor especial para la sociedad por ser bonitas o llamativas) o las de mayor impacto económico, de modo que el resto de las especies siempre están postergadas. Esto ha sido una de las principales causas de que no se haya logrado una protección efectiva de los agaves en México. A su vez, los cambios sexenales producen descoordinación y división de las competencias, lo que *de facto* provoca un vacío, lentitud en la resolución de problemas, visiones sesgadas y una protección somera.

El atraso en la conservación efectiva de especies no carismáticas o de hábitats que las incluyan es un hecho que debiese cambiar en el corto plazo; sin embargo, no sólo se requiere una visión integral de gobierno, también depende de la sociedad civil. Especialmente de la academia, que ya no puede darse el lujo de vivir y crear una ciencia despegada de la realidad, en donde los conocimientos que son relevantes para evitar la destrucción del hábitat y sus especies o poblaciones se remitan únicamente a las publicaciones científicas. Asimismo, para frenar el tráfico y comercio clandestino de especies silvestres, es necesaria la participación de la sociedad civil y el sector académico, además del ámbito gubernamental.

Respecto a las amenazas indirectas que sufren los agaves, los trabajos citados en el presente estudio muestran la vulnerabilidad de aquellas especies de *Agave* que tienen una fuerte dependencia de polinizadores específicos que se encuentren en algún estatus de riesgo o son escasos. Dicha vulnerabilidad también juega un papel importante para otras plantas como las cactáceas. Esto determina la urgencia de llevar a cabo estudios de ecología en términos de relaciones con los polinizadores. Cadaval (1999) y Eguiarte, *et al.* (2000) demuestran lo poco que se conoce de los polinizadores de los agaves, de los cuáles se suponen ciertos síndromes generales sin que esto haya sido comprobado para muchas especies, particularmente en el subgénero *Litsea*.

Con relación a las especies listadas en la NOM-059-ECOL-2001, es importante comentar que las especies que se protegerían con las áreas sugeridas son justamente las más urgentes a conservar (todas las que se encuentran en peligro de extinción y la mitad de las amenazadas, además de una tercera parte de las de menor rango, sujetas a protección especial). Hasta ahora la Semarnat no cuenta con la información relativa al estado de las poblaciones en riesgo, pero en la modificación de la norma se eliminó la categoría de "rara" debido a que la rareza es una condición ecológica natural relativa a la distribución y abundancia, lo cual puede ser una causa de riesgo, pero no es una categoría *per se*. El riesgo de extinción no se debe determinar solamente sobre la base de un factor, sino de la suma de varios aspectos.

No obstante, es necesario implementar acciones de conservación concretas con cierta urgencia (*in situ* y *ex situ*) de aquéllas consideradas en peligro de extinción y amenazadas. Reiteramos que éstas acciones deben ser llevadas a cabo por los gobiernos locales, federal y por la sociedad en su conjunto, que muchas veces es más rápida y efectiva que las órdenes de gobierno. Por ejemplo, los jardines botánicos en México son manejados en su mayoría por estudiantes y voluntarios (Razgado *et al.*, 1994) y los viveros de flora silvestre son producto principalmente de esfuerzos aislados de la iniciativa de sus propietarios y, en menor medida, éstos surgen como consecuencia y estrategias públicas de fomento (Semarnat, 1997).

### **de las áreas seleccionadas en este trabajo a las áreas naturales protegidas (ANP)**

Lo enumerado en la introducción acerca de las amenazas que afectan a los agaves y de lo poco que se ha realizado para su conservación, además de la importancia histórico-ecológica y cultural que estas plantas tienen, son razones de sobra para entender que se debe hacer un esfuerzo por conservar los agaves en su medio silvestre. De esta necesidad surgen inquietudes acerca de cómo lograrlo de manera óptima: ¿cómo saber qué áreas seleccionar y cómo hacerlo eficazmente? ¿de qué otras formas se pueden conservar los agaves?.

Pensamos que la mejor manera de conservar la biodiversidad dentro de áreas protegidas, en este caso de agaves, es estudiando los patrones en el espacio de parámetros que hacen referencia a su complejo histórico-ecológico. Por ello, este trabajo buscó la síntesis de 5 parámetros convencionales y alternativos e integró distintos aspectos que podrían ser relevantes para elegir en un orden de prioridad, a escala macro, las áreas en donde se podrían focalizar esfuerzos de conservación de agaves en México.

Cabe señalar que muchos de los trabajos que se revisaron y que proponen métodos para elegir eficazmente las áreas a proteger, les otorgan jerarquías a dichas áreas hasta que todas las especies del taxón bajo análisis se encuentran protegidas (Vane-Wright *et al.*, 1991; Arita *et al.*, 1997, Villaseñor *et al.*, 1998). Esta tesis difiere radicalmente de lo anterior, pues dado que los recursos para la conservación son escasos y en especial lo son en un país megadiverso como éste, que tiene muchos grupos claves que proteger, posee una alta diversidad beta y se encuentra extensamente poblado, nos parece una utopía plantear una lista de reservas *ad infinitum*, (esto es, hasta incluir todas las especies del género). Por ello consideramos que para plantear el esquema de protección de agaves en áreas naturales protegidas, es necesario revisar el método desarrollado para establecer la priorización de un número limitado de áreas.

Se debe aclarar que a pesar de que las áreas consenso contienen las particularidades generales de cada parámetro y la diversidad global de los agaves, es posible que cierta cualidad considerada como excepcional para este taxón haya quedado excluida de las regiones seleccionadas. Sólo el conocimiento profundo del grupo puede detectar dichos casos. Para aquéllos taxones que no sean bien conocidos sólo nos queda elaborar propuestas que reflejen al máximo sus particularidades, como los enfoques alternativos de biodiversidad.

Respecto al análisis de correlación de Pearson, si bien la riqueza de especies se correlaciona positivamente con un par de patrones, todas sus correlaciones son bajas y la mayoría no son significativas. Esto significa que cada parámetro por sí solo explica muy poco la selección de las áreas evaluadas por todos los parámetros, por lo que se recomienda evaluar el mayor

número de parámetros posible en la búsqueda y determinación de posibles reservas. En caso de que se tenga información de pocos o un solo parámetro, se sugiere usar además indicadores de heterogeneidad ambiental (Faith y Walker, 1996; Mourelle y Ezcurra, 1997). Esto es crucial y retoma la discusión teórica del inicio de esta tesis: es necesario integrar parámetros para obtener mejores acercamientos a la complejidad de la biodiversidad. Estamos, por demás, en una época en donde es más fácil hacerlo.

El hecho de que la rareza o microendemismo se correlacione de modo negativo con los patrones geográficos tiene mucho sentido, pues si consideramos que posiblemente los patrones de rareza reflejen adaptaciones locales, es difícil que sean parte de esquemas de dispersión biogeográfica que abarcan una escala mayor. Adicionalmente, para realizar este análisis se eliminaron todas las especies de distribución única, justamente porque no aportarían información -como lo señala Rosen (1988)- acerca de su posible proceso de dispersión histórica.

Hay que destacar que el hecho de que las áreas seleccionadas se hayan elegido y ordenado por varios criterios sucesivos por parámetro fue un modo de incorporar tanto criterios cuantitativos como cualitativos, otorgándole un mayor peso a los últimos. Por ejemplo, se procedió a incluir todos los grupos taxonómicos en lugar de seleccionar únicamente a las áreas de elevado número de grupos; se incorporaron las áreas de mayor riqueza pero se les dio jerarquía por complementariedad, o se partió de una elevada proporción filogenética pero se jerarquizó por la cercanía de los grupos entre sí.

#### ¿por qué proponer áreas naturales protegidas como esquema de conservación?

Si bien en México muchas áreas naturales protegidas (ANP) únicamente tienen un decreto pero ningún régimen de protección real, la tendencia se debe revertir en los próximos años, puesto que desde el sexenio pasado se ha trabajado intensamente para dotarlas de personal que las administre, de recursos financieros, de información acerca de la diversidad biológica y cultural local y se han desarrollado programas que impulsan el aprovechamiento sustentable de sus recursos (Semarnap, 1996). Empero, el desgaste de los recursos naturales es profundo y los cambios serán paulatinos. La problemática de las ANP es altamente compleja y de distintos órdenes. Para ejemplificar, podemos mencionar los principales problemas que aquejan la región de Tehuacán-Cuicatlán, considerada en el presente estudio como el área más importante para la conservación *in situ* de los agaves. Éstos son: sobrepastoreo con ganado caprino, asentamientos humanos irregulares, saqueo y tráfico de especies suculentas, extracción indiscriminada de leña, autopista, carreteras y brechas que han fraccionado los corredores biológicos y más de 10% de las especies nativas de la región - incluyendo las endémicas- se encuentran fuera de los límites de la reserva (Cardel *et al.*, 1997; Arizaga *et al.*, 2000a; Vales *et al.*, 2000; Mendez *et al.*, 2001). Adicionalmente se han encontrado especies nuevas sin descripción oficial (García-Mendoza com.pers.).

Afortunadamente, cada vez es más claro que la conservación de las áreas protegidas no se puede lograr sin el consenso e involucramiento de la gente local (Halffter, 1994; Munasinghe y McNelly, 1994). En México las áreas naturales protegidas se han transformado durante los últimos años para dejar de ser sólo zonas con ciertas restricciones y se han desarrollado, al menos conceptualmente, esquemas que combinan el uso de los recursos por las poblaciones locales con sitios de resguardo. En la práctica esta vía va lenta puesto que formular opciones



concretas requiere tiempo, mucho trabajo social y conocimiento ecológico y étnico de cada zona particular; pero al menos ha ido adquiriendo mayor consenso, respaldo y experiencia.

A pesar de los problemas que presentan las áreas naturales protegidas, en muchos casos son una opción de conservación más viable y efectiva que aquella que se puede dar *ex situ*. Generalmente son reconocidas como más seguras y financieramente más efectivas -es mucho más barato proteger una hectárea, que pagar para repararla- y tienen una estructura legal bien definida que le otorga un buen respaldo (Munasinghe y Mc Nelly, 1994; Possiel *et al.*, 1995; Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1996; Carabias, 2000; Vales *et. al.*, 2000).

### **perspectivas: otras medidas de Conservación y líneas de investigación sugeridas**

La conservación de agaves se debe basar y afianzar en esquemas de sustentabilidad con las comunidades de modo concreto, para darles una opción de desarrollo local. Debido a que es un recurso familiar para muchas comunidades, estas plantas pueden servir como referencia (estudios de caso), para establecer esquemas de manejo sostenido sencillos. El propiciar su aprovechamiento en unidades de manejo para la conservación de vida silvestre (uma) es una buena opción, pues parte de una planeación racional establecida en planes de manejo que revisa la autoridad ambiental. Pero no podrá convertirse en una opción generalizada sin apoyo técnico ex profeso de parte de la autoridad ambiental, pues son esquemas nuevos para los productores y todos los trámites considerados como difíciles o engorrosos suelen evitarse y hacer las cosas fuera de la ley. El reto tremendamente difícil es, que dada la diversidad beta de este país y la gran diversidad cultural también, es necesario desarrollar los esquemas de aprovechamiento sustentable adaptado a las distintas necesidades de los pueblos, con distintas especies. En este sentido, retomamos la idea de que las áreas naturales protegidas sirvan de laboratorio para buscar esquemas locales de desarrollo sustentable -pero no únicamente las reservas de la biósfera- tal y como lo plantea Halffter (1995).

Otros aspectos fundamentales que se deben conocer y concretar al trabajar en las regiones que se pretende conservar, son las posibilidades de adquirir la propiedad de la tierra en donde se haya seleccionado las áreas: ¿son zonas más caras que otras? ¿hay mucha población humana? ¿cómo se agrupa geográfica y socialmente? ¿cuál es el régimen predominante de la tenencia de la tierra? ¿están dispuestos a vender la tierra sus propietarios? ¿qué tan fragmentado está el o los ecosistemas regionales?, etcétera.

Por último, dentro de las líneas de investigación recomendadas podemos mencionar un par de aspectos importantes, pero que aún se encuentran en etapa embrionaria. Sería muy interesante y novedoso conocer estos patrones en el espacio y evaluar si las áreas cambian de importancia al evaluar dichos parámetros y de ser así, cómo lo hacen.

Uno de los enfoques que falta es el enfoque antropocéntrico, de diversidad de usos. Actualmente es difícil saber o imaginar como serían muchos ecosistemas sin la intervención humana: muchas especies y variedades de plantas y animales serían muy distintas o sencillamente no existirían. Las diferentes culturas han hecho diferentes usos de los mismos recursos, así como también han convergido en éstos. Es muy probable que en aquellas regiones donde exista una mayor diversidad de usos de cierto recurso, mayor relevancia

ecológica tenga éste en dicho sistema y quizás mayor variabilidad genética (Jorge Larson, com. pers.). Asimismo, los usos similares de una planta representados en un patrón en el espacio, por ejemplo, posiblemente puedan coincidir con las regiones fitogeográficas o puedan ser equivalentes en ecosistemas similares, aunque las especies no sean las mismas. Sin embargo, los estudios etnobotánicos o etnozoológicos con una visión de patrones de diversidad georreferenciados son aún muy incipientes (Jorge Larson, com. pers.).

También sería interesante conocer la importancia ecológica de los agaves por tipo de ecosistema: si se encuentran presentes como especies clave, si son especies fundamentales para las poblaciones de otros organismos en riesgo, si son especies raras en cierta región o ecosistema, si determinan el paisaje o si se pudiese cuantificar el número de interacciones con otras especies de su mismo hábitat, son sólo ciertas maneras recomendadas de aproximarnos a un problema muy complejo, pero cuyo desentrañamiento sería sin duda muy gratificante.

### **del concepto de biodiversidad**

Los últimos párrafos nos devuelven al punto inicial de este trabajo, esto es, de cómo medimos, conocemos y entendemos la biodiversidad. Esto no es casual ni trivial. La biodiversidad es un concepto derivado de la teoría de sistemas (Halffter y Ezcurra, 1994), lo esencial está en las redes de los conceptos y modelos, es decir, en su interrelación. Esto implica que la epistemología de este "metaconcepto" debe ser incluida explícitamente en la descripción de sus procesos (Capra, 1996).

Lo más apropiado para entender "metaconceptos" como el de biodiversidad, es la comprensión de las redes o conexiones entre los atributos que la componen y la mantienen. Como afirma Noss (1990), se debe incluir el ámbito estructural, funcional y de composición. Podemos tomar como metáfora el cambio de paradigmas que se desencadenó con el desarrollo de la física cuántica. Las partículas subatómicas carecen de significado como entidades aisladas y sólo pueden entenderse como interacciones. De este modo, resulta crucial que los estudios de diversidad biológica tomen en cuenta los procesos que la determinan y mantienen, así sea de manera cualitativa.

Otro punto importante, es que comúnmente no se considera a la acción del hombre como parte de los procesos que generan diversidad biológica, lo que evidentemente no es así, ya que la humanidad ha transformado desde paisajes hasta especies, así como características genéticas de múltiples organismos. Más recientemente, se ha logrado reconocer a la biodiversidad como la diversidad existente en y entre los seres vivos en todas las escalas imaginables, con todo y los efectos que el mismo hombre ha producido y produce (Raven, 1992; Lovejoy, 1997). La adecuada construcción y difusión de este complejo concepto permitirá el correcto enlace con diferentes ramas y quehaceres humanos.

Por último, se recomienda ampliamente, como opción o vía para incorporar lo anterior, trabajar con más de un atributo, visión o escala de la biodiversidad, para llevar a cabo al menos un esfuerzo de integración de parámetros, cualidades o factores que la componen.

Ante la problemática ambiental vigente es necesario ampliar el pensamiento intuitivo, sintético, holístico y no-líneal, como afirma Fritjof Capra (1996): "El cambio de paradigmas requiere de una expansión no sólo de nuestras percepciones y modos de pensar, sino también de nuestros valores".

Y como hemos visto a lo largo de este trabajo, los agaves, particularmente en México, presentan una excelente oportunidad para hacerlo.



foto: Enesto Vega

## Conclusiones

*Ya no quedan desiertos.  
Ya no quedan islas.  
Y, sin embargo, se siente su deseo  
Albert Camus*

- Los agaves son uno de los grupos biológicos con mayor relevancia biológica y cultural en el país, a pesar de ello, permanecen desconocidos en muchos sentidos. Es necesario llevar a cabo actividades de colecta sistemática y ordenada de la mayor parte de las especies del género y georreferenciar los datos que se tienen actualmente, así como desarrollar e impulsar estudios de su ecología, taxonomía, filogenia y estado de conservación, especialmente de las especies señaladas en este trabajo como microendémicas.
- Las áreas recomendadas en el presente estudio para focalizar actividades de conservación *in situ*, seleccionadas por la integración de parámetros cuantitativos y cualitativos, son: O20-P20, N17, Q22, Q24, H17, M14 y F9 ubicadas respectivamente en Puebla-Oaxaca (Tehuacán-Cuicatlán y Sierra Madre del Sur), Estado de México (Eje Neovolcánico), Oaxaca (Sierra Madre del Sur y Costa del Pacífico), Chiapas (Costa del Pacífico, Soconusco, Golfo), Nuevo León-Coahuila (Altiplano Norte y Sur y Sierra Madre Occidental), Jalisco (Eje Neovolcánico) y Sonora-Chihuahua (Sierra Madre Oriental, Costa del Pacífico). Se sugiere llevar a cabo estudios a menor escala que incorporen los aspectos sociales de las localidades para asegurar que los esquemas de conservación se lleven a cabo con la aprobación y participación de la población local.
- Las áreas a proteger deben ser un sistema integrado por reservas complementarias, que permitan administrar eficientemente los escasos recursos destinados a ello, por lo que su determinación debe considerar información acerca de los procesos que determinan y componen la biodiversidad contenida en ellas. Esto se optimiza cuando se considera mayor número de parámetros (clásicos y alternativos) y se incorpora información cuantitativa y cualitativa. Adicionalmente, la integración de distintos parámetros, escalas o aspectos permite afinar la red conceptual del término "biodiversidad".
- Las áreas naturales protegidas a pesar de ser un instrumento muy poderoso de conservación no son suficientes para proteger la diversidad biológica de México. Las reservas no pueden asegurar la conservación y manejo de sus recursos sin el consenso de las poblaciones humanas locales. Es de vital importancia implementar esquemas locales de desarrollo sustentable. La conservación de la biodiversidad es un problema que nos compete a todos y sólo se resolverá en la medida en que la sociedad, las instituciones públicas y privadas y el gobierno coparticipen desde sus distintos ámbitos de acción.

- Álvarez de Zayas, A. 1989. Distribución geográfica y posible origen de las agavaceae. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. Vol X N°1: 25:36
- Arita, H. 1993. Rarity in Neotropical Bats: Correlations with Phylogeny, Diet, and Body Mass. *Ecological Applications* 3(3): 506-517.
- Arita, H. y D. O. Wilson. 1987. Long-nosed bats and Agaves: the Tequila Connection. *Bats*. 5 (4): 3-5.
- Arita, H., F. Figueroa, A. Frisch, P. Rodríguez, y K. Santos-del-Prado. 1997. Geographical Range Size and the Conservation of Mexican Mammals. *Conservation Biology* 11(1): 92-100.
- Arita, H. y K. Santos-del-Prado. 1999. *Conservation Biology of Nectar-feeding Bats in Mexico*. *Journal of Mammalogy* 80 (1): 31-41.
- Arita, H. y P. Rodríguez. 2001. Ecología Geográfica y Macroecología. En: Llorente, J. y J. Morrone (eds.) *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. pp 63-80.
- Arriaga, L., J. L. Espinosa, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez. y E. Loa (coords). 2000. *Regiones Prioritarias Terrestres de México*. Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Arizaga, J.C., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramirez de Arellano y E. Vega. 2000a. Pollination Ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. I Floral biology and pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 87: 1004-1010.
- Arizaga, J.C., E. Ezcurra, E. Peters, F. Ramirez de Arellano y E. Vega. 2000b. Pollination Ecology of *Agave macroacantha* (Agavaceae) in a Mexican Tropical Desert. II The role of pollinators. *American Journal of Botany* 87: 1011-1017.
- Bachelard, G. 1948. *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI, México.
- Begon, M., J. Harper y C. Townsend. 1987. *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. Omega, Barcelona.
- Cadaval, A. 1999. *Estudio evolutivo de los azúcares del néctar de Agave lechuguilla en el desierto de Chihuahua*. Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F.
- Capra, F. 1996. *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Editorial Anagrama, Barcelona.

Cardel, Y., V. Rico-Gray, J. G. García-Franco y L. Thien. 1997. Ecological Status of *Beaucarnea gracilis* an Endemic Species of Semiarid Tehuacán Valley, Mexico. *Conservation Biology* 11 (2): 367-373.

Carabias, J. 2000. Presentación. En: Vales, G., F. Rodríguez, R. De la Maza, M. Gómez-Cruz y C. Berton. *Áreas Naturales Protegidas de México*. Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, Semarnat/INE y Nestlé.

Colunga-GarcíaMarín, P., J. Coello-Coello, L. Eguiarte y D. Piñero. 1999. Isozymatic and Phylogenetic Relationships between Henequén (*Agave fourcroydes*) and its Wild Ancestor *A. angustifolia* (Agavaceae). *American Journal of Botany* 86 (1): 115-123.

Conabio. 1998. *La diversidad biológica de México: estudio de país, 1998*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Conabio. 2000. *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Cotgreave, P. y P. Harvey. 1994. Associations Among Biogeography, Phylogeny and Bird Species Diversity. *Biodiversity Letters* (2): 46-55.

Cousins, S. H. 1991. Species Diversity Measurement: Choosing the Right Index. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 190-192.

Eguiarte, L. 1995. Hutchinson (agavales) vs. Huber y Dahlgren (Asparagales): análisis moleculares sobre filogenia y evolución de la familia Agavaceae *sensu* Hutchinson dentro de las monocotiledóneas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 45-56

Eguiarte, L. y A. Búrquez. 1988. Reducción en la fecundidad en *Manfreda brachystachya* (Cav.) Rose, una agavácea polinizada por murciélagos: los riesgos de la especialización en la polinización. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 48: 147-149.

Eguiarte, L., M. Duvall, G. Learn y M. Clegg. 1994. The Systematic Status of the Agavaceae and Nolinaceae and Related Asparagales in the Monocotyledons: an Analysis based on the *rdL* Gene Sequence. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 54: 35-56.

Eguiarte, L., Souza, V., Nuñez-Farfán, J. y Hernández-Baños, B. 1997. El análisis filogenético: métodos, problemas y perspectivas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 60: 169-181.

Eguiarte, L., J. Larson-Guerra, J. Nuñez-Farfán, A. Martínez-Palacios, K. Santos del Prado y H. Arita. 1999. Diversidad filogenética y conservación: ejemplos a diferentes escalas y una propuesta a nivel poblacional para *Agave victoriae-reginae* en el desierto de Chihuahua, México. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 475-492.

Eguiarte, L., V. Souza y A. Silva-Montellano. 2000. Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66: 131-150.

Eguiarte, L., M. Tambutti, A. Silva, J. Golubov y V. Souza. Manuscrito en proceso. *Natural History of the Agave Genus: Taxonomy, Ecology and Conservation*.

Eldredge, N. 1992. Introduction: Systematics, Ecology and the Biodiversity Crisis. En: Eldredge, N. (ed) *Systematics, Ecology and the Biodiversity Crisis*. Columbia University Press, N.Y. pp. vii-ix.

Erwin, T. 1991. An Evolutionary Basis for Conservation Strategies. *Science* 253: 750-753.

Espinosa, D. y J. Llorente. 1993. *Fundamentos de Biogeografías Filogenéticas*. Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

Ezcurra, E. 1995. *Patrones biogeográficos de las cactáceas columnares de México*. Proyecto G003 apoyado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Faith, D. 1992. Conservation Evaluation and Phylogenetic Diversity. *Biological Conservation* 61: 1-10.

Faith, D. 1994. Phylogenetic Pattern and the Quantification of Organismal Biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*. 345: 45-58.

Faith, D. y P. Walker. 1996. How do the Indicator Groups Provide Information About the Relative Biodiversity Sets of Areas?: on Hotspots, Complementarity and Pattern-based approaches. *Biodiversity Letters* 3: 18-25.

Figueroa, M. F. 1995. La variedad de masas corporales como medida alternativa de la diversidad de mamíferos de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F.

Franco, I. 1995. Conservación *in situ* y *ex situ* de las agaváceas y nolináceas mexicanas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 57: 27-36.

Ganeshaiah, K. N. y U. Shaanker. 2000. Measuring Biological Heterogeneity of Forest Vegetation Types: Avalanche Index as an Estimate of Biological Diversity. *Biodiversity and Conservation* (9): 953-963.

García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. En: Linares E., P. Dávila, F. Chiang, R. Bye y T.S. Elias (eds.) *Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques*. UNAM, México. Pp 51-75.

García-Mendoza, A. y R. Galván. 1995. Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 7-24.

García-Mendoza, A. 1998. *Con sabor a maguey: guía de las colecciones nacional de Agaváceas y Nolináceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. UNAM y Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V.

Gentry, H. S. 1982. *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.

Gil, K., M. González, O. Martínez, J. Simpson y G. Vandemark. 2001. Analysis of Genetic Diversity in *Agave tequilana* var. Azul using RAPD Markers. *Euphytica* 119: 335-341.

Gómez-Pompa, A. y Dirzo, R. 1995. *Las reservas de la biósfera y otras áreas naturales protegidas de México*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Granados, D. 1993. *Los agaves en México*. Universidad Autónoma Chapingo, México D.F.

Halffter, G. 1994. Conservación de la biodiversidad y áreas naturales protegidas en los países tropicales. *Ciencias* 36: 4-13.

Halffter, G. 1995. Reservas de la biósfera y conservación de la biodiversidad en el siglo XXI. *Ciencias* 39: 9-13.

Halffter, G. y E. Ezcurra. 1992. ¿Qué es la biodiversidad? En: G. Halffter (comp.) *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa. Pp 3-24.

Hernández, L. 1995. Análisis cladístico de la familia Agavaceae. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 57-68.

Hodgson, W. 1997. Cap. 1. Taxonomic Groups. En: S. Oldfield (ed) 1997. *Cactus and Succulent Plants. Status Survey and Conservation Action Plans*. IUCN, U.K.

Hodgson, W. y A. García-Mendoza. 1997. Members of the Agavaceae with Restricted Distribution (Annex 1). En: S. Oldfield. (ed) 1997. *Cactus and Succulent Plants. Status Survey and Conservation Action Plans*. IUCN, U.K.

Humphries, C. J, P.H. Williams, y R. Vane-Wright. 1995. Measuring Biodiversity Value for Conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 93-111.

Kohlman, B. y S. Sánchez. 1984. Estudio aerográfico del género *Bursera* Jaq. Ex L. (Burseraceae) en México: una síntesis de métodos. En: E. Ezcurra, M. Equihua, B. Kohlman y S. Sánchez. *Métodos cuantitativos en la biogeografía*. Instituto de Ecología, A. C. Pp 43-125.

*Ley Federal Forestal y su Reglamento*. 1997. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 1997.

*Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. 1996. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, modificada por decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1996.



*Ley General de Vida Silvestre*. 2000. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000.

Levin, S. 1992. The Problem of Pattern and Scale in Ecology. *Ecology* 73 (6): 1943-1967.

Lovejoy, T. E. 1997. Biodiversity: What is it? En: M.L. Reaka-Kudla, D.O. Wilson y E.O. Wilson (eds.) *Biodiversity II. Understanding and Protecting our Biological Resources*. Joseph Henry Press, Washington, D.C. Pp 7-14.

Lovett, J., S. Rudd, J. Taplin y C. Fridmodt-Moller. 2000. Patterns of Plant Diversity in Africa South of the Sahara and their Implications for Conservation Management. *Biodiversity and Conservation* 9: 37-46.

Maddison, P. y R. Maddison. 1992. *MacClade 3.1*. Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sutherland, Massachusetts.

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey.

Martínez-Palacios, A., L. Egularte y G. R. Furnier. 1999. Genetic Diversity of the Endangered Endemic *Agave vitoriae-reginae* (Agavaceae) in the Chihuahuan Desert. *American Journal of Botany* 86: 1093-1098.

May, R. 1990. Taxonomy as Destiny. *Nature* 347: 129-130.

Méndez, I., R. Lira, J. L. Villaseñor, E. Ortiz y P. Dávila. 2001. ¿La Reserva de la Biósfera del valle de Tehuacán-Cuicatlán protege o limita? Cartel presentado en el XV Congreso Mexicano de Botánica ([www.soc.bot.org.mx/resumenes/resumen138.htm](http://www.soc.bot.org.mx/resumenes/resumen138.htm))

Mishler, B. 1995. Plant Systematics and Conservation: Science and Society. *Madroño* 42 (2): 103-113.

Mittermeir, R., N. Myers, J. Thompson, G. da Fonseca y S. Olivieri. 1998. Biodiversity Hotspots and Mayor Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservations Priorities. *Conservation Biology* 12 (3): 516-520.

Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1996. Species Richness of Argentine Cacti: a Test of Biogeographic Hypothesis. *Journal of Vegetation Science* 7: 667-680.

Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1997. Differentiation Diversity of Argentine Cacti and its Relationship to Environmental Factors. *Journal of Vegetation Science* 8: 547-558.

Munasinghe, M. y J. McNeely. 1994. An Introduction to Protected Area Economics and Policy. En: *Protected Area Economics and Policy. Linking Conservation and Sustainable Development*. World Bank y IUCN. Pp1-12.

Nabhan, G. P. y T. Fleming. 1993. The Conservation of New World Mutualisms. *Conservation Biology* 7 (3): 457-459.

*Ley General de Vida Silvestre*. 2000. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000.

Levin, S. 1992. The Problem of Pattern and Scale in Ecology. *Ecology* 73 (6): 1943-1967.

Lovejoy, T. E. 1997. Biodiversity: What is it? En: M.L. Reaka-Kudla, D.O. Wilson y E.O. Wilson (eds.) *Biodiversity II: Understanding and Protecting our Biological Resources*. Joseph Henry Press, Washington, D.C. Pp 7-14.

Lovett, J., S. Rudd, J. Taplin y C. Fridmodt-Moller. 2000. Patterns of Plant Diversity in Africa South of the Sahara and their Implications for Conservation Management. *Biodiversity and Conservation* 9: 37-46.

Maddison, P. y R. Maddison. 1992. *MacClade 3.1*. Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sutherland, Massachusetts.

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey.

Martínez-Palacios, A., L. Eguiarte y G. R. Furnier. 1999. Genetic Diversity of the Endangered Endemic *Agave vitoriae-reginae* (Agavaceae) in the Chihuahuan Desert. *American Journal of Botany* 86: 1093-1098.

May, R. 1990. Taxonomy as Destiny. *Nature* 347: 129-130.

Méndez, I., R. Lira, J. L. Villaseñor, E. Ortiz y P. Dávila. 2001. ¿La Reserva de la Biósfera del valle de Tehuacán-Cuicatlán protege o limita? Cartel presentado en el XV Congreso Mexicano de Botánica ([www.soc.bot.org.mx/resumen/resumen138.htm](http://www.soc.bot.org.mx/resumen/resumen138.htm))

Mishler, B. 1995. Plant Systematics and Conservation: Science and Society. *Madroño* 42 (2): 103-113.

Mittermeir, R., N. Myers, J. Thompson, G. da Fonseca y S. Olivieri. 1998. Biodiversity Hotspots and Mayor Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservations Priorities. *Conservation Biology* 12 (3): 516-520.

Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1996. Species Richness of Argentine Cacti: a Test of Biogeographic Hypothesis. *Journal of Vegetation Science* 7: 667-680.

Mourelle, C. y E. Ezcurra. 1997. Differentiation Diversity of Argentine Cacti and its Relationship to Environmental Factors. *Journal of Vegetation Science* 8: 547-558.

Munasinghe, M. y J. McNeely. 1994. An Introduction to Protected Area Economics and Policy. En: *Protected Area Economics and Policy. Linking Conservation and Sustainable Development*. World Bank y IUCN. Pp1-12.

Nabhan, G. P. y T. Fleming. 1993. The Conservation of New World Mutualisms. *Conservation Biology* 7 (3): 457-459.

Navarro, J. (fray). 1801. *Historia Natural o Jardín Americano*. Editado en 1992 por Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Mexicano del Seguro Social, Instituto de Seguridad Social y Servicios Sociales de los trabajadores del Estado, México. Pp 190-191.

Nobel, S. 1994. *Remarkable Agaves and Cacti*. Oxford University Press, N.Y.

*Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental.- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres.- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.- Lista de especies en riesgo*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002.

Noss, R. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: a Hierarchical Approach. *Conservation Biology* 4 (4): 355-364.

Oldfield, S. 1997. *Cactus and Succulent Plants. Status Survey and Conservation Action Plans*. IUCN, U.K.

Olson, D. y E. Dinerstein. 1998. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's most Biologically Value Ecoregions. *Conservation Biology* 12 (3): 502-515.

Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, N.Y.

Platnick, N. I. 1992. Patterns of Biodiversity. En: N. Eldredge (ed.) *Systematics, Ecology and the Biodiversity Crisis*. Columbia University Press, N.Y. Pp 15-24.

Possiel, W., R. Saunier y R. Megank, 1995. In-situ Conservation of Biodiversity. En: R. Saunier y R. Megank (eds) *Conservation of Biodiversity and the New Regional Planning*. Organization of the American States and the IUCN. Pp 7-20.

Pressey, R. L., C. J. Humphries, C. R. Margules, R.I. Vane-Wright y P. H. Williams. 1993. Beyond Opportunism: Key Principles for Systematic Reserve Selection. *Trends in Ecology and Evolution* 8 (4): 124-129.

Rabinowitz, D., S. Cairns y T. Dillon. 1986. Seven Forms of Rarity and their Frequency in the Flora of British Isles. En: M. E. Soulé (ed.) *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. Pp 182-204.

Ramírez, A. 1936. Distribución de los agaves de México. *Anales del Instituto de Biología*. Tomo VII, Nº 1: 17-45.

Ramírez, J. 1995. Los magueyes. *Biodiversitas*. Año1 Nº 3: 1-5

Ramade, F. 1981. *Ecology of Natural Resources*. John Wiley y Sons, N.Y., Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. Pp 7-11.

Navarro, J. (fray). 1801. *Historia Natural o Jardín Americano*. Editado en 1992 por Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Mexicano del Seguro Social, Instituto de Seguridad Social y Servicios Sociales de los trabajadores del Estado, México. Pp 190-191.

Nobel, S. 1994. *Remarkable Agaves and Cacti*. Oxford University Press, N.Y.

*Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental.- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres.- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio.- Lista de especies en riesgo*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002.

Noss, R. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: a Hierarchical Approach. *Conservation Biology* 4 (4): 355-364.

Oldfield, S. 1997. *Cactus and Succulent Plants. Status Survey and Conservation Action Plans*. IUCN, U.K.

Olson, D. y E. Dinerstein: 1998. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's most Biologically Value Ecoregions. *Conservation Biology* 12 (3): 502-515.

Pielou, E. C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, N.Y.

Platnick, N. I. 1992. Patterns of Biodiversity. En: N. Eldredge (ed.) *Systematics, Ecology and the Biodiversity Crisis*. Columbia University Press, N.Y. Pp 15-24.

Possiel, W., R. Saunier y R. Megank, 1995. In-situ Conservation of Biodiversity. En: R. Saunier y R. Megank (eds) *Conservation of Biodiversity and the New Regional Planning*. Organization of the American States and the IUCN. Pp 7-20.

Pressey, R. L., C. J. Humphries, C. R. Margules, R.I. Vane-Wright y P. H. Williams. 1993. Beyond Opportunism: Key Principles for Systematic Reserve Selection. *Trends in Ecology and Evolution* 8 (4): 124-129.

Rabinowitz, D., S. Cairns y T. Dillon. 1986. Seven Forms of Rarity and their Frequency in the Flora of British Isles. En: M. E. Soulé (ed.) *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. Pp 182-204.

Ramírez, A. 1936. Distribución de los agaves de México. *Anales del Instituto de Biología*. Tomo VII, Nº 1: 17-45.

Ramírez, J. 1995. Los magueyes. *Biodiversitas*. Año1 Nº 3: 1-5

Ramade, F. 1981. *Ecology of Natural Resources*. John Wiley y Sons, N.Y., Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. Pp 7-11.

- Raven, P. 1992. Carácter y valor de la diversidad. En: *Estrategia Global para la Biodiversidad*, WRI, UICN, PNUMA. Pp 1-5.
- Raven, P., R. Evert, y S. Eichorn. 1992. *Biology of Plants*. Worth Publishers, N. Y. pp 251, 704.
- Razgado, A., N. Pedraza, M. A. Cuellar, R. Hernández y G. Solano. 1994. *Catálogo de jardines botánicos mexicanos y colecciones afines*. Documento interno de SEDESOL.
- Reinchenbacher, F. 1985. Conservation of Southwestern Agaves. *Desert Plants* 7 (2): 88, 103-106.
- Rosen, B. R. 1988. Cap. 14. From Fossils to Earth History: Applied Historical Biogeography. En: *Analytical Biogeography*. A. Myers y P. S. Giller (eds.) Chapman and Hall, London.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México.
- Salinas, J. 2000. Testimonios de un otomí. *Artes de México* 51: 30-45.
- Santos del Prado, K. 1996. *Diversidad y conservación de mamíferos en México: un enfoque taxonómico y filogenético*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Semarnap. 1995. *Programa de Medio Ambiente 1995-2000*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México, D.F.
- Semarnap. 1996. Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Semarnap. 1997. Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.
- Silva, A. 2001. *Ecología reproductiva y genética de poblaciones de Agave lechuguilla (Torr.) en un gradiente latitudinal*. Tesis de para obtener el grado de Doctor en Ecología. Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.
- Simonetti, J. A., M. T. K. Arroyo, A. E. Spotorno, E. Lozada, C. Webwer, L. E. Cornejo, J. Solervicens y E. Fuentes. 1992. Hacia el conocimiento de la diversidad biológica en Chile. En: G. Halffter (comp.) *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Instituto de Ecología, A.C. Pp 253-270.
- Soberón, J., J. Llorente y L. Oñate. 2000. The Use of Specimen-label Databases for Conservation Purposes: an Example Using Mexican Papilionid and Pierid Butterflies. *Biodiversity and Conservation* 9: 1441-1466.
- Soulé, M. 1985. What is Conservation Biology? *Bioscience* 35 (11): 727-734.

Swofford, D. 1993. *Phylogeny Analysis Using Parsimony*. Smithsonian Institution, Washington, D.C.

Tambutti, M., A. Silva, A. García-Mendoza y L. Eguiarte. 1995. Patrones de distribución geográfica del género *Agave*: ¿Posible hipótesis histórica? En *Libro de resúmenes. XII Congreso Mexicano de Botánica*. Sociedad Botánica de México, México. pp 109-110.

Tattersall, I. 1992. Systematic Versus Ecological Diversity: the Example of the Malagasy Primates. En: N. Eldredge (ed.) *Systematics, Ecology and the Biodiversity Crisis*. Columbia University Press, N.Y. pp 25-39.

Toledo, V. 1994. La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventas. *Ciencias* 34: 43-59.

Valenzuela, A. 1994. *El agave tequilero: su cultivo e industrialización*. Monsanto, México.

Vales, G., F. Rodríguez, R. De la Maza, M. Gómez-Cruz y C. Berton. 2000. *Áreas Naturales Protegidas de México*. Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable, Semarnat/INE y Nestlé.

Vane-Wright, R.I., C. J. Humphries y P. H. Williams, 1991. Systematics and the Agony of Choice. *Biological Conservation* 55: 235-264.

Villaseñor, J. L., G. Ibarra y D. Ocaña. 1998. Strategies for the Conservation of Asteraceae in México. *Conservation Biology* 12 (5): 1066-1075.

Williams, P. H., K. Gaston y C. Humphries. 1994. Do conservationists and Molecular Biologists Value Differences Between Organisms in the Same Way? *Biodiversity Letters* 2 (3): 67-78.

Wilson, E. O. 1997. Introduction. En: M.L. Readka- Kudla, D.O. Wilson y E.O. Wilson (eds.) *Biodiversity II. Understanding and Protecting Our Biological Resources*. Joseph Henry Press, Washington, D.C. Pp 1-3.

Young, T. y C. Augspurger. 1991. Ecology and Evolution of Long-lived Semelparous Plants. *Trends in Ecology and Evolution* (6) 9: 285-289.

Zarco, M. 1999. *Patrones biogeográficos y filogenéticos del género Chamaedorea (Palmae)*. Tesis para obtener el grado de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM, México; D.F.

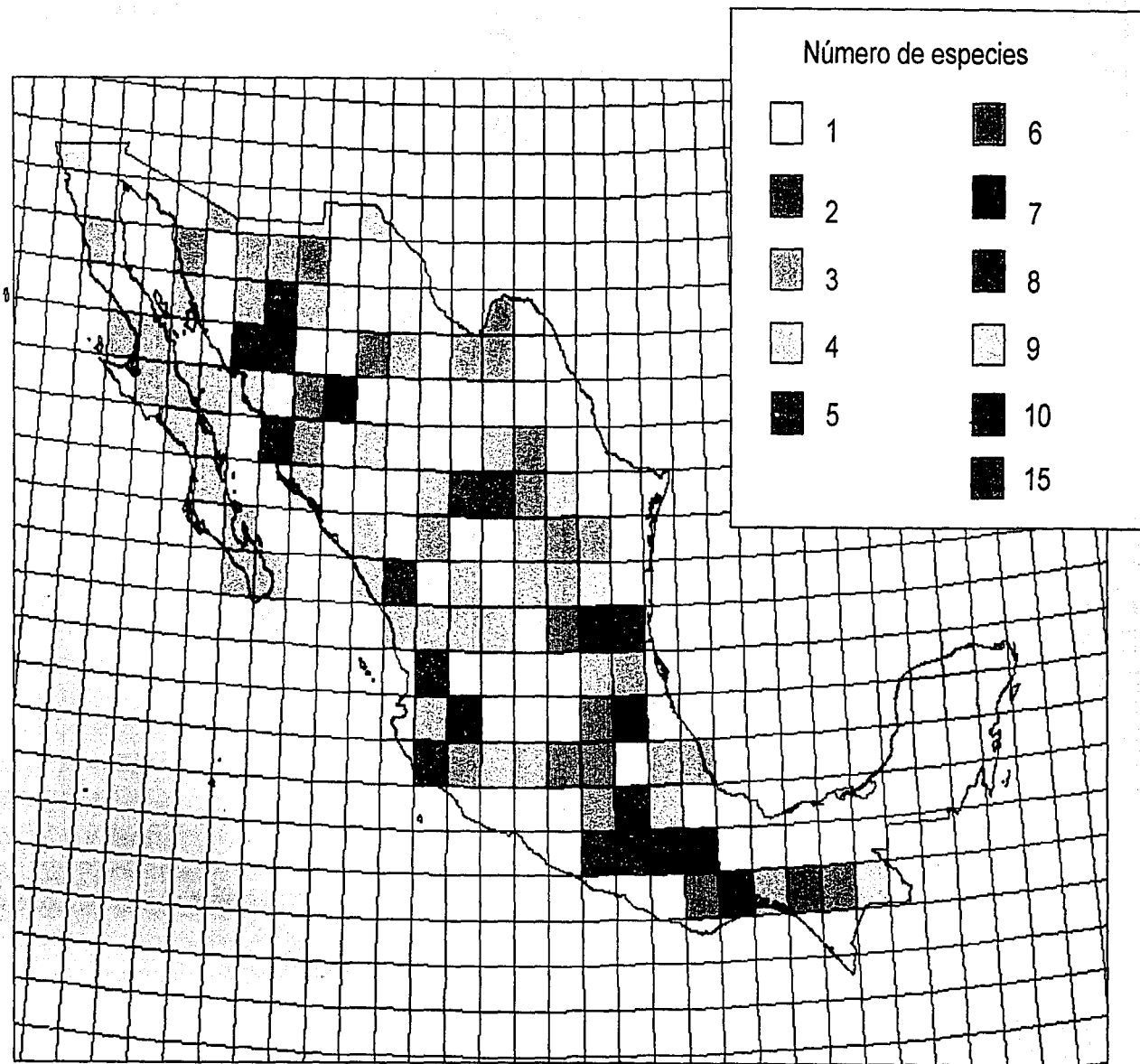
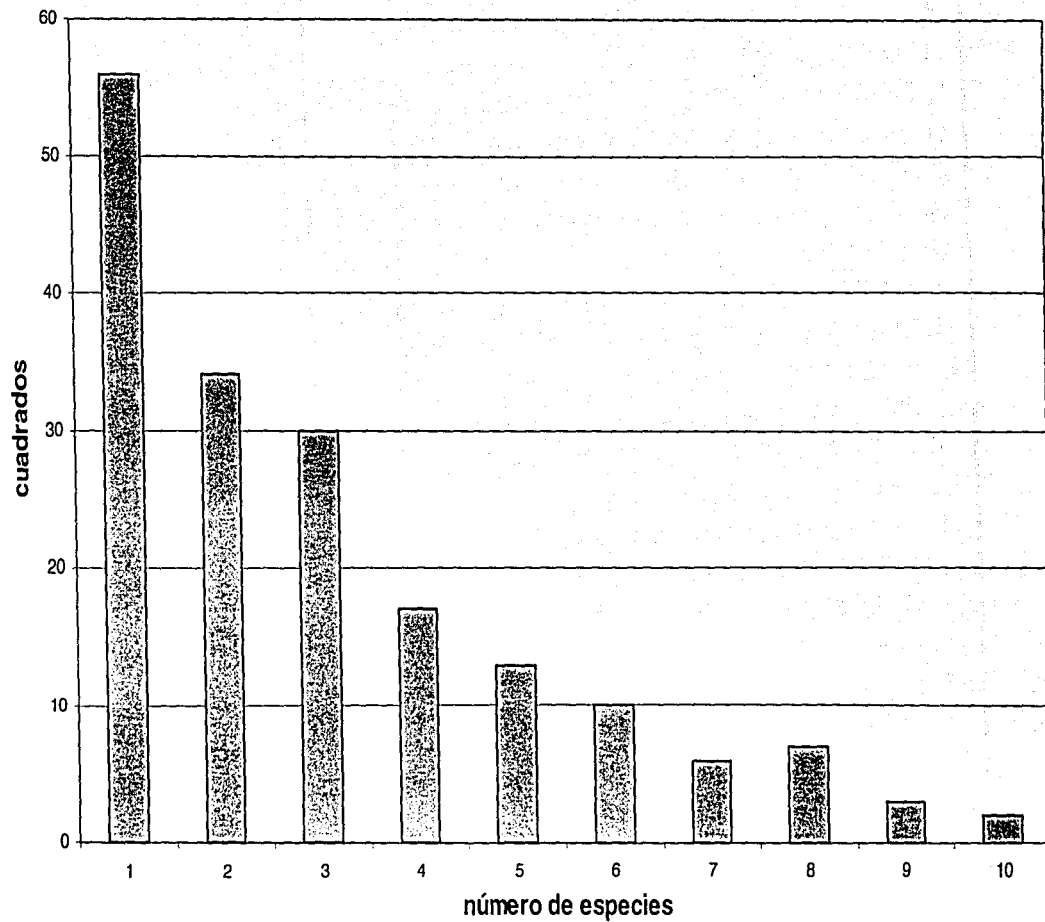


Figura 2. Riqueza de especies del género *Agave* en México



**Figura 3.** Histograma del número de especies presentes por cuadrado.

La última categoría del eje "x" agrupa a las áreas que contienen 10 o más especies, correspondientes a la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.



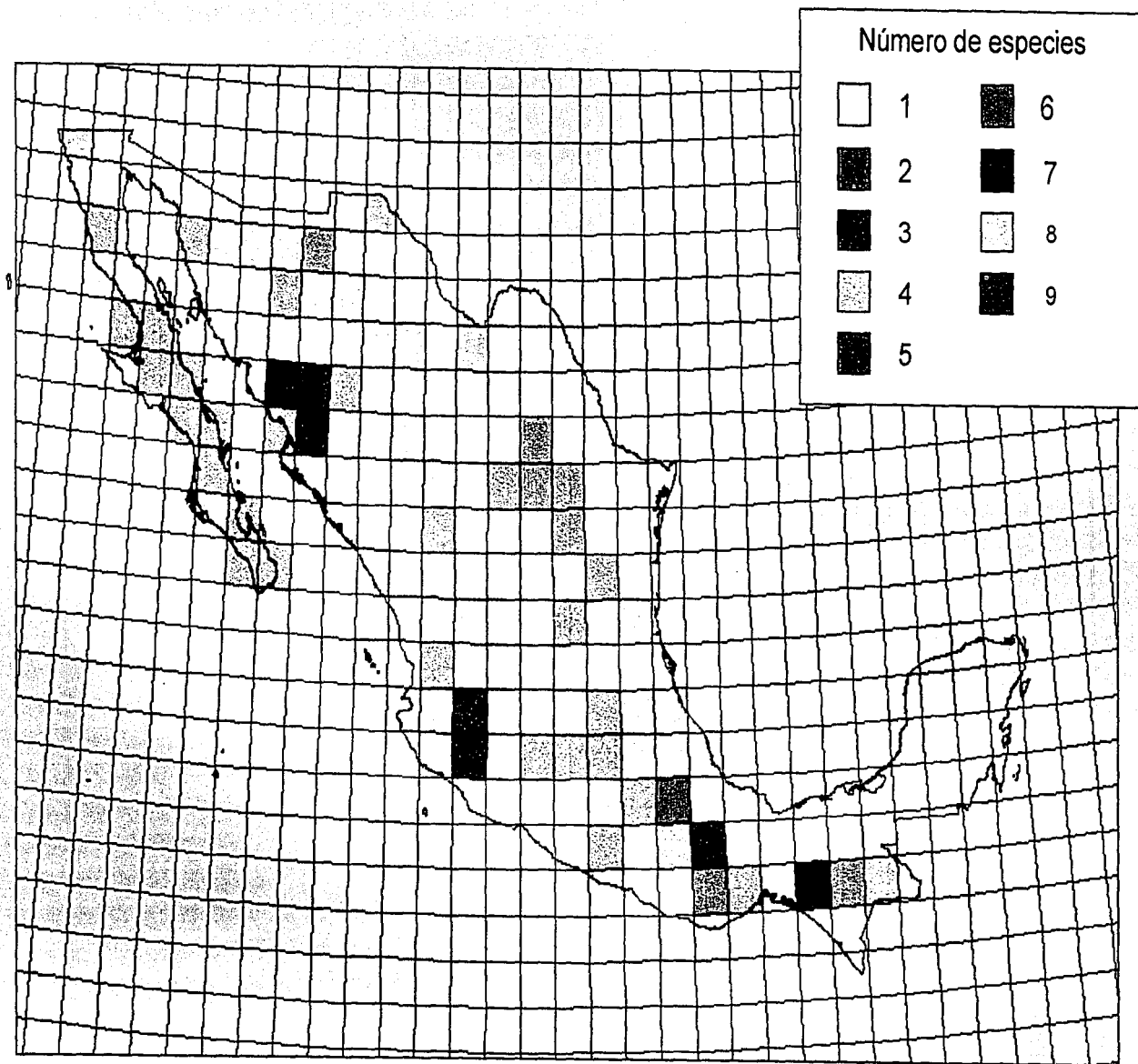


Figura 5. Riqueza de especies del subgénero *Agave* en México

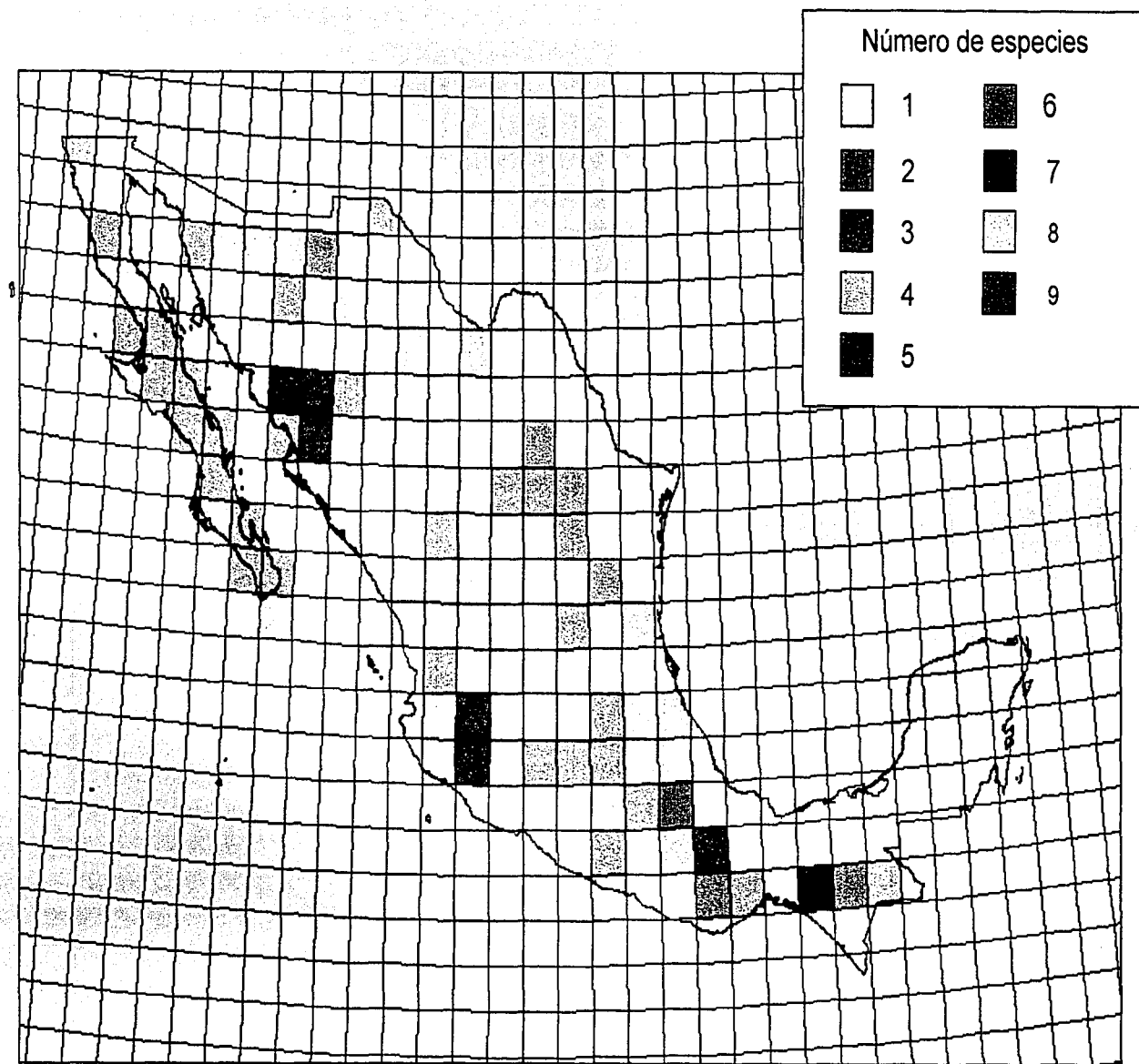
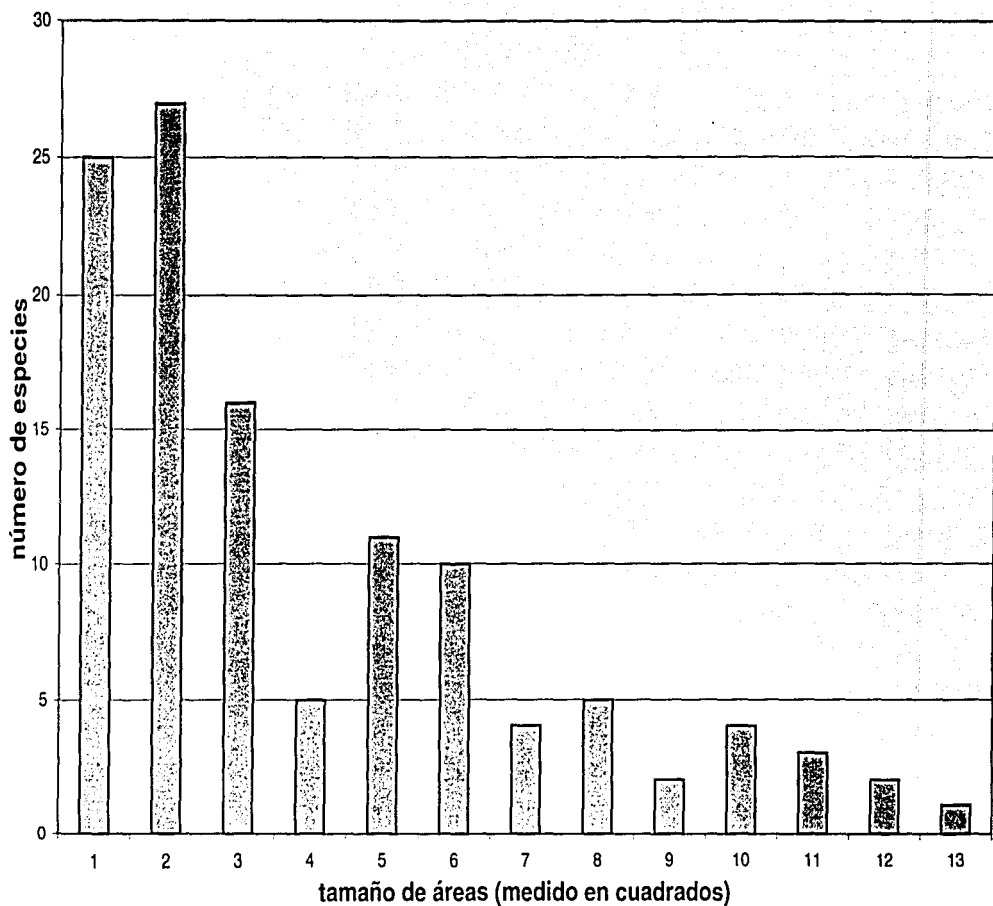


Figura 5. Riqueza de especies del subgénero *Agave* en México



**Figura 6.** Frecuencia del tamaño de áreas ocupadas por las especies del género *Agave* en México. En el eje "x", las primeras nueve categorías son equivalentes al número de cuadrados correspondiente. La categoría 10 agrupa a las especies que ocupan entre 10 y 15 cuadrados, 11 agrupa a las especies que ocupan entre 16 y 20, 12 agrupa a las especies que ocupan entre 20 y 40 y 13 agrupa a las especies que ocupan entre 40 y 50.

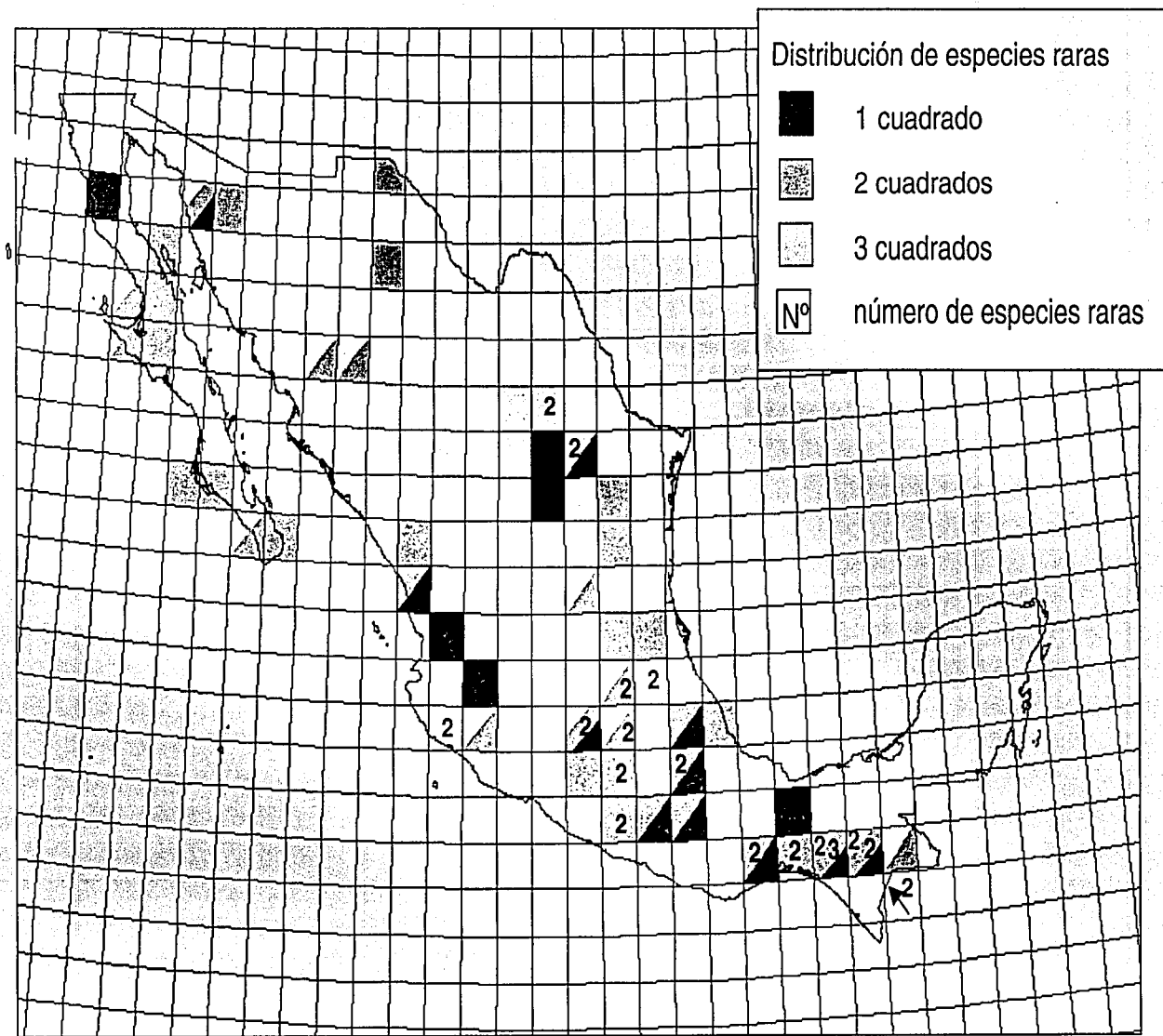


Figura 7. Especies microendémicas (distribución  $\leq 3$  cuadrados) del género *Agave*

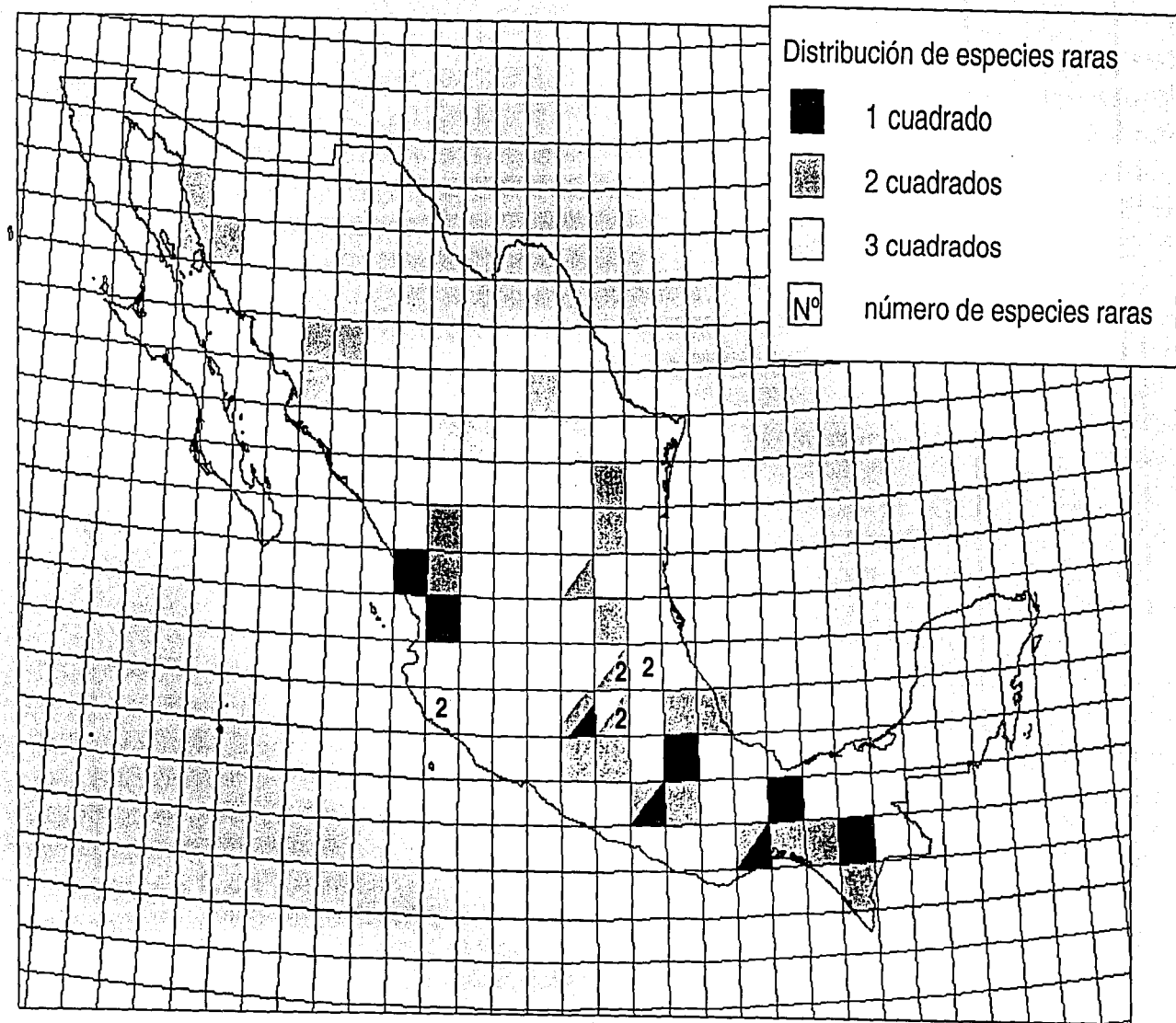


Figura 8. Especies microendémicas (distribución  $\leq 3$  cuadrados) del subgénero *Littaea*

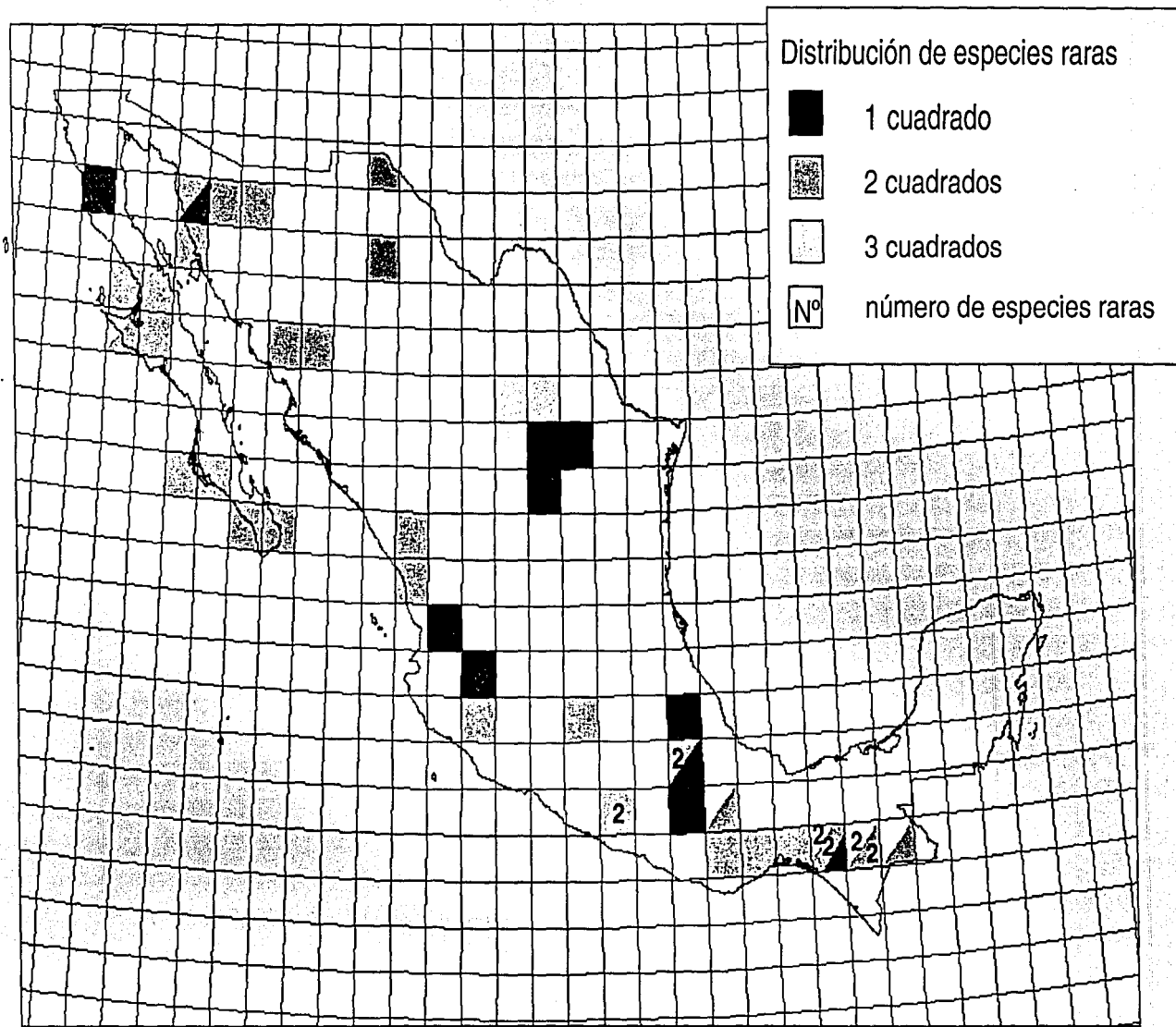


Figura 9. Especies microendémicas (distribución  $\leq 3$  cuadrados) del subgénero *Agave*

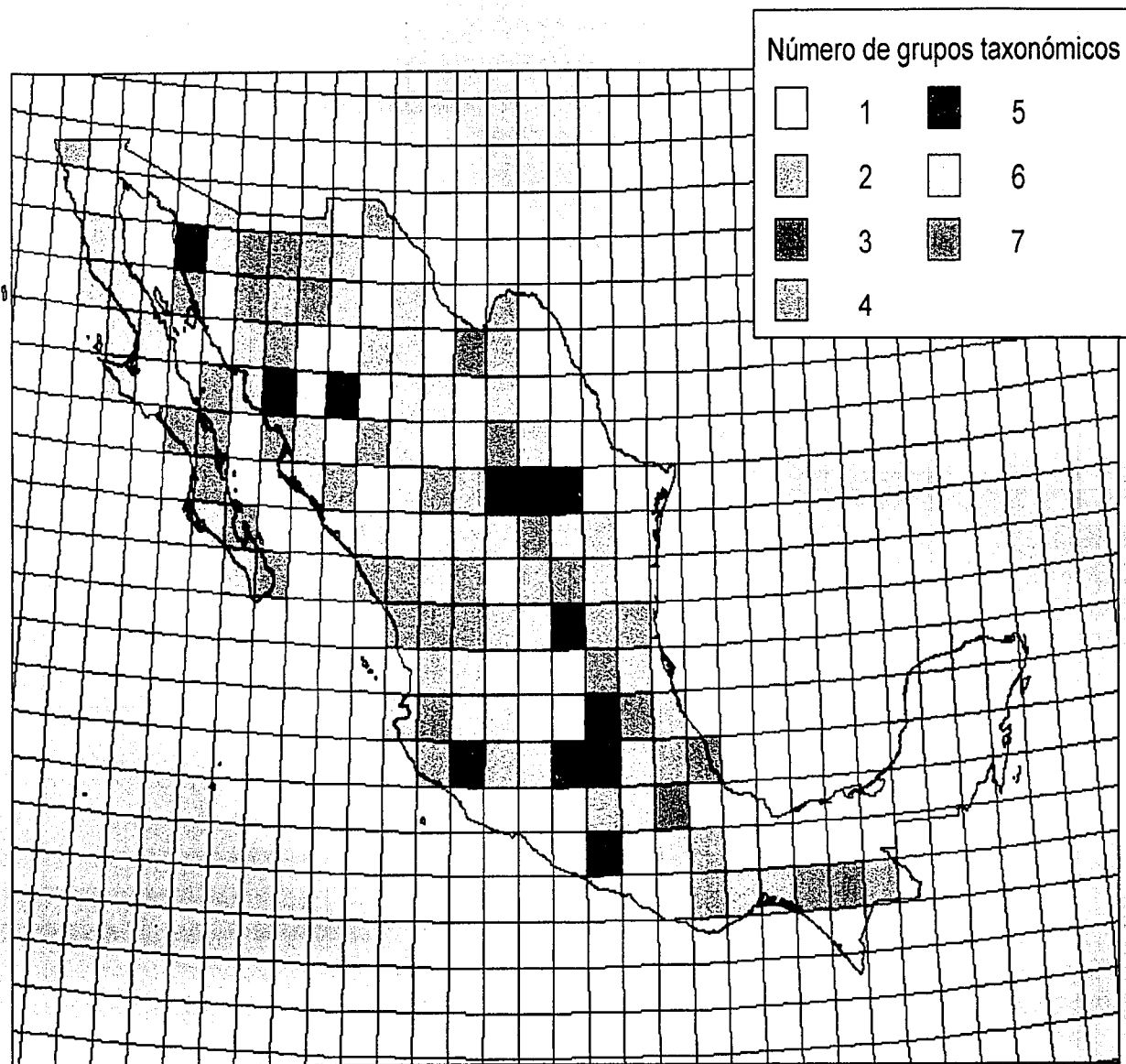


Figura 10. Diversidad de grupos taxonómicos del género *Agave* en México

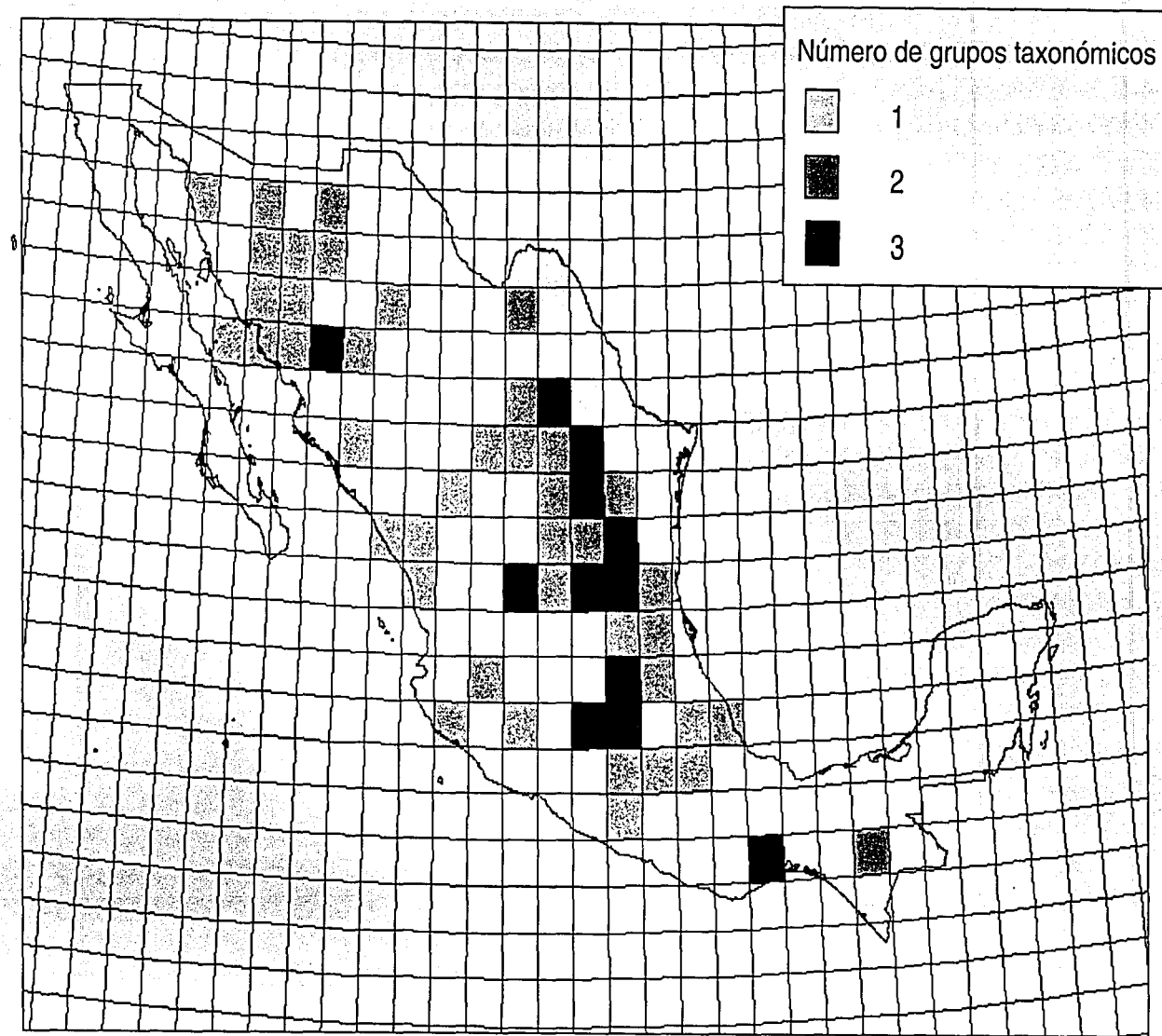


Figura 11. Diversidad de grupos taxonómicos del subgénero *Littaea* en México



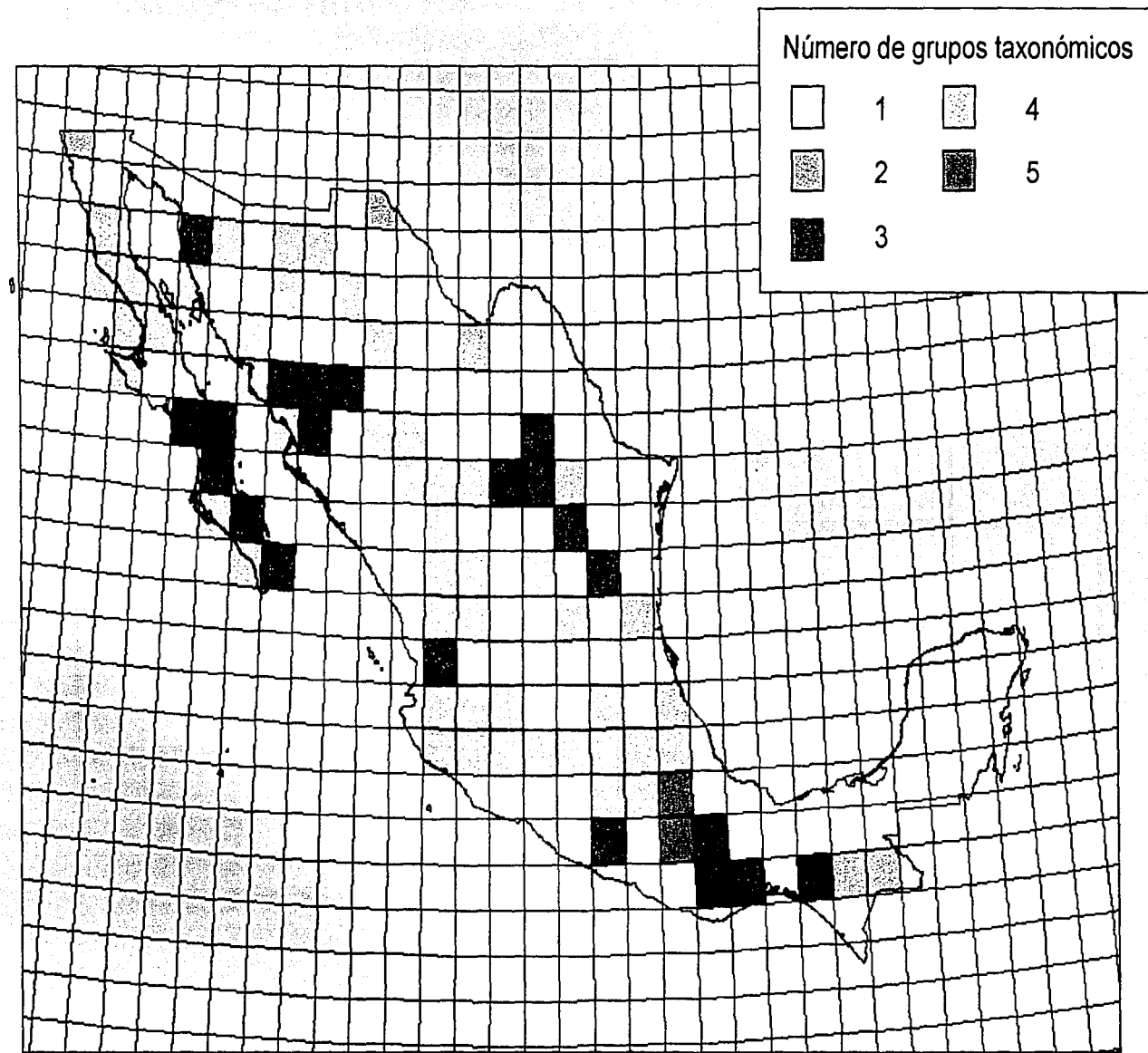
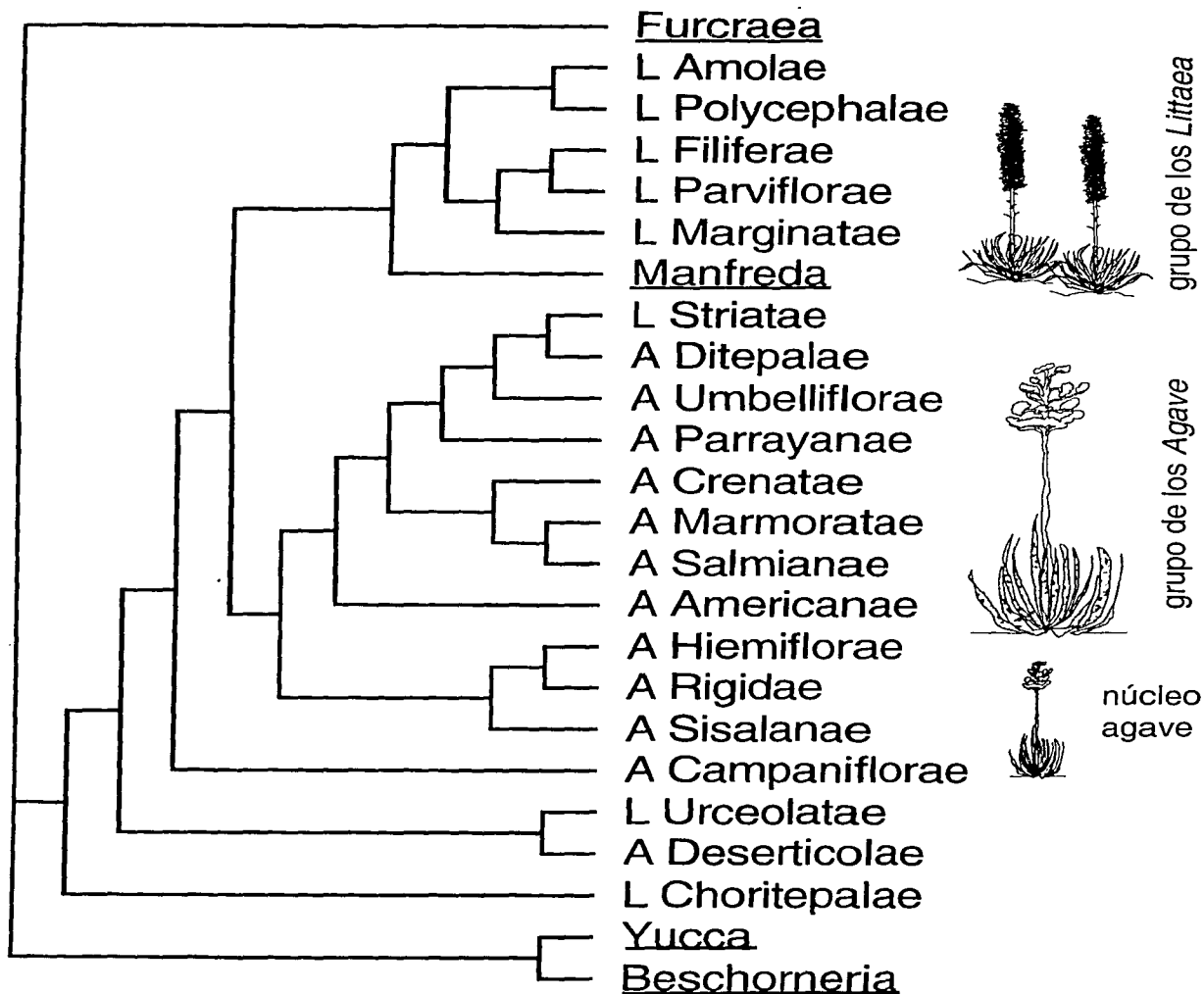


Figura 12. Diversidad de grupos taxonómicos del subgénero *Agave* en México



**Figura 13.** Filogenia de los grupos taxonómicos del género *Agave*.

Árbol tomado al azar de dos igualmente parsimoniosos (largo = 215 pasos, índice de consistencia = 0.809, índice de homoplasia = 0.795, índice de retención = 0.606).

Obtenido por medio de PAUP 3.1.1 (Swofford, 1993).

Los grupos marcados a la derecha se comentan en el texto.

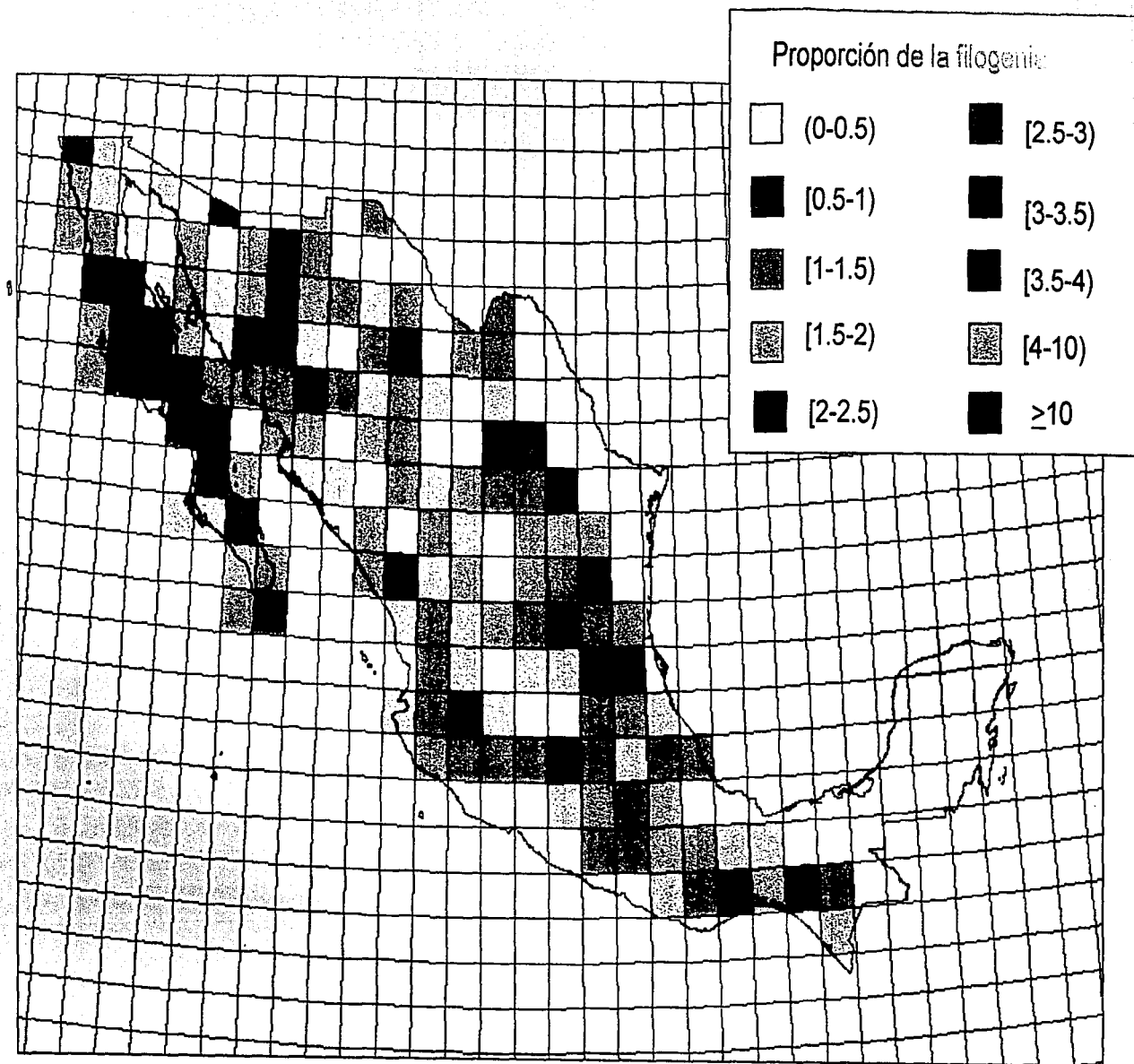
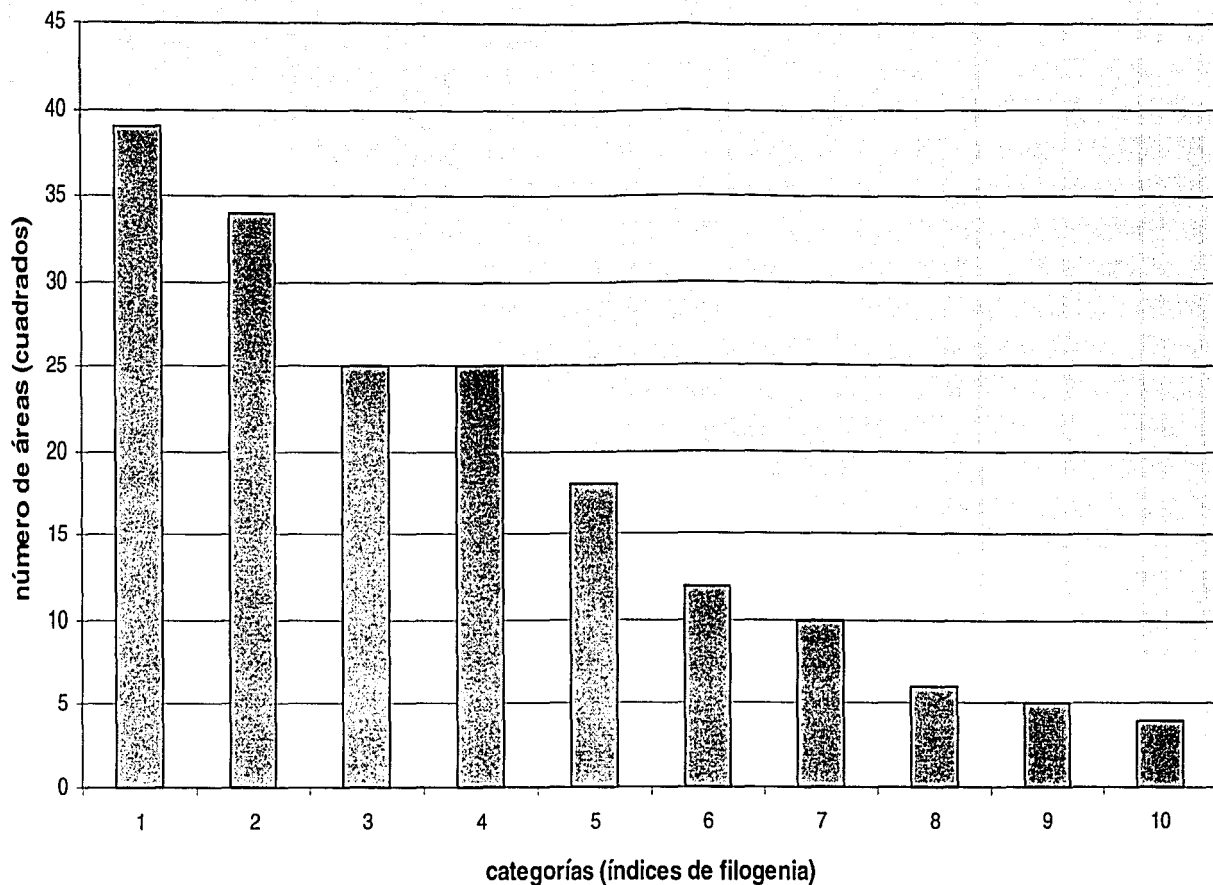


Figura 14. Diversidad filogenética de los agaves en México (índice de May, 1990)



**Figura 15.** Frecuencia de las categorías del índice de May (1990) por área.

En eje "x" las categorías equivalen a los siguientes intervalos de porcentaje de la filogenia de los grupos taxonómicos, 1=(0-0.5), 2=(0.5-1.0), 3=(1.0-1.5), 4=(1.5-2.0), 5=(2.0-2.5), 6=(2.5-3.0), 7=(3.0-3.5), 8=(3.5-4.0), 9=(4-10), 10=(>10). El valor más bajo fue 0.12 y el más elevado 10.89.

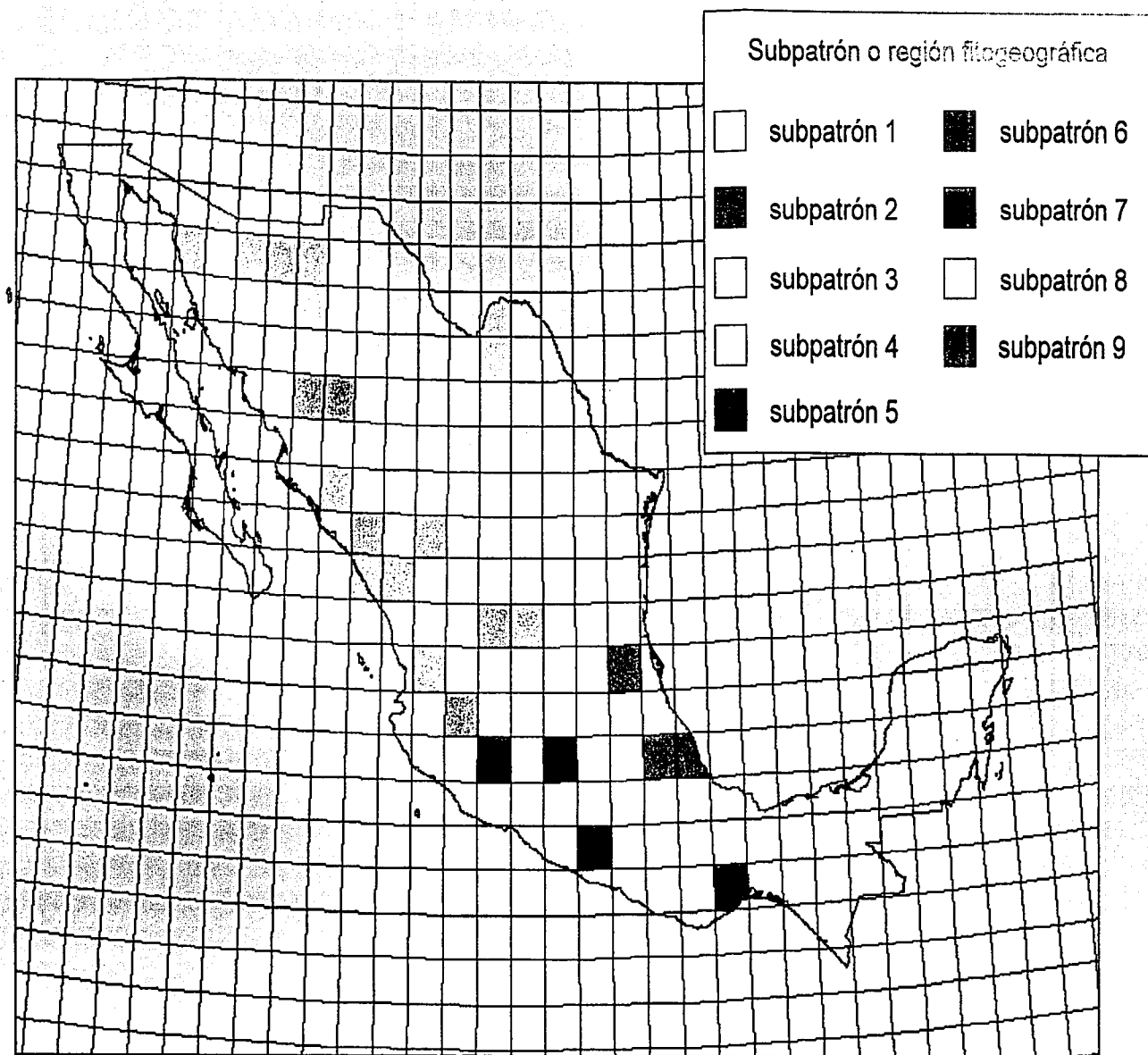


Figura 16. Patrón biogeográfico del subgénero *Littaea*

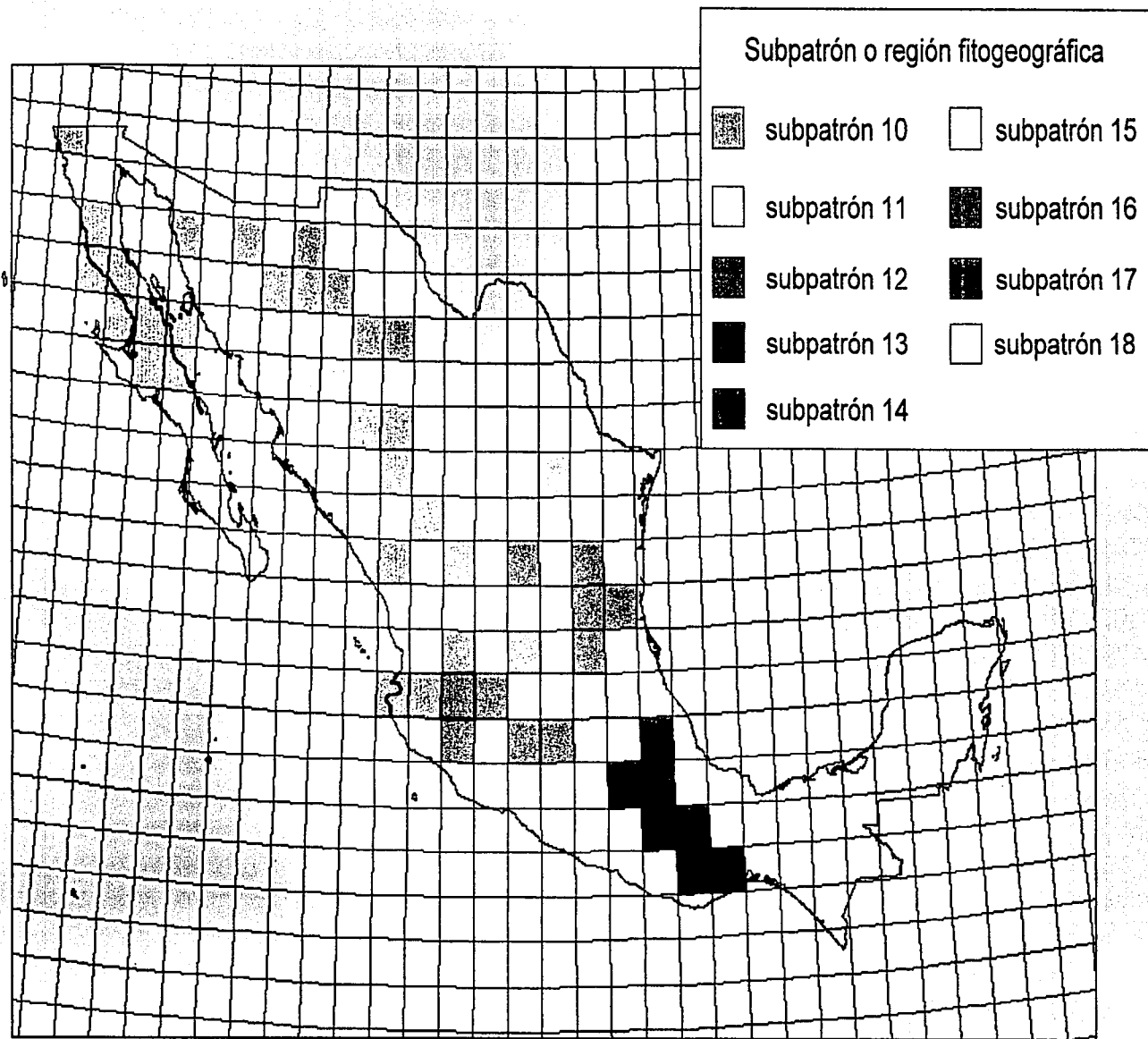


Figura 17. Patrón biogeográfico del subgénero *Agave*

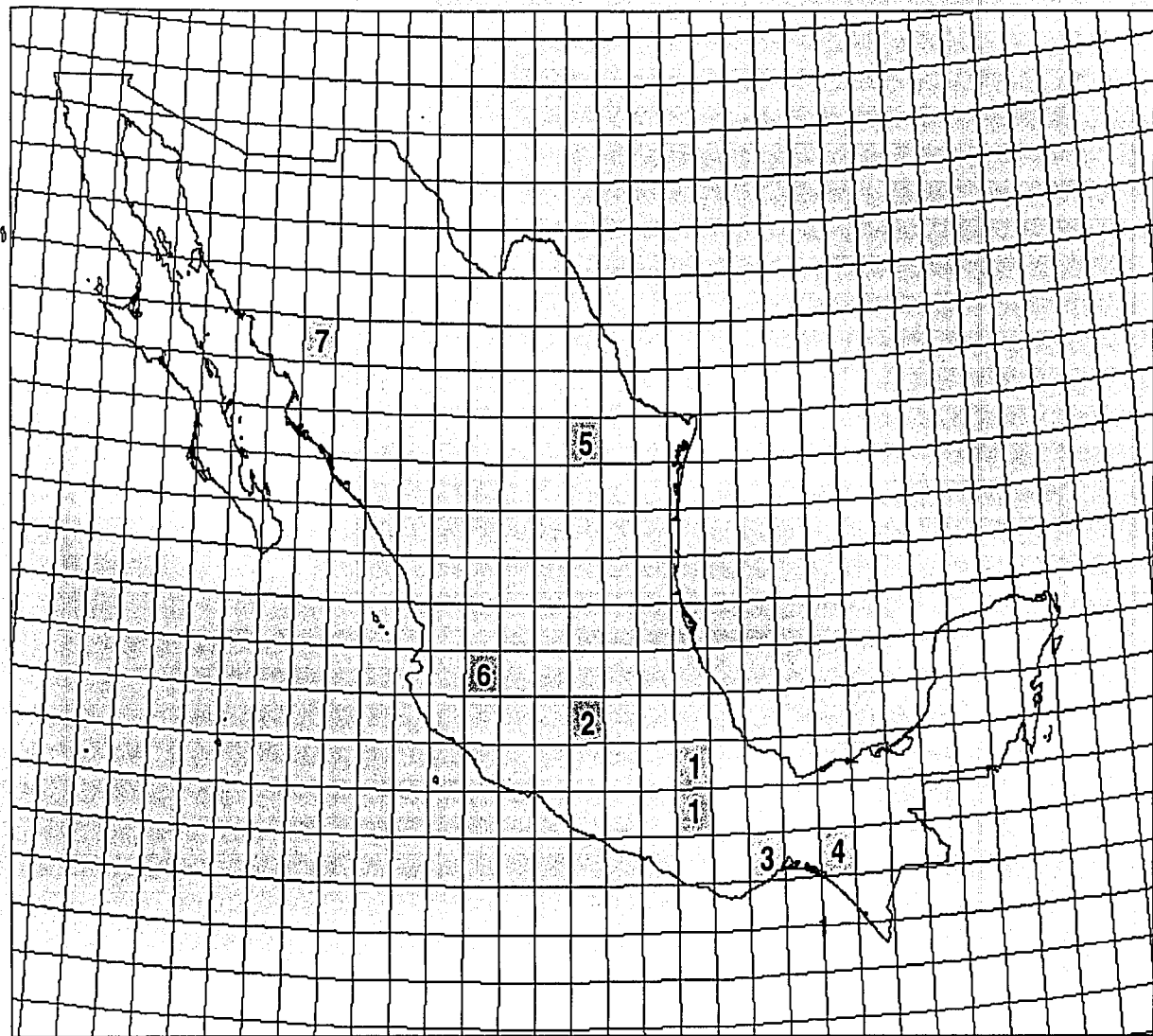
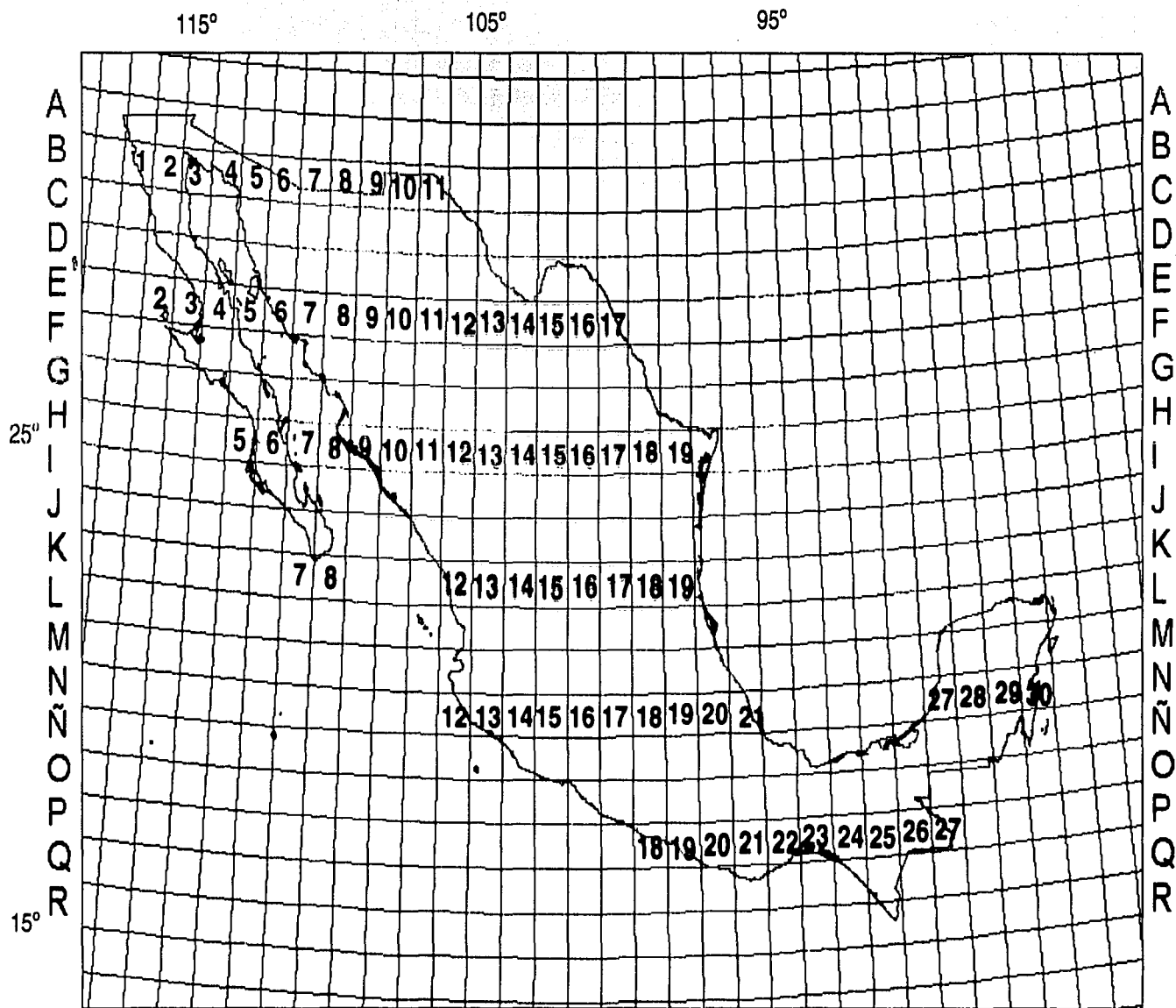
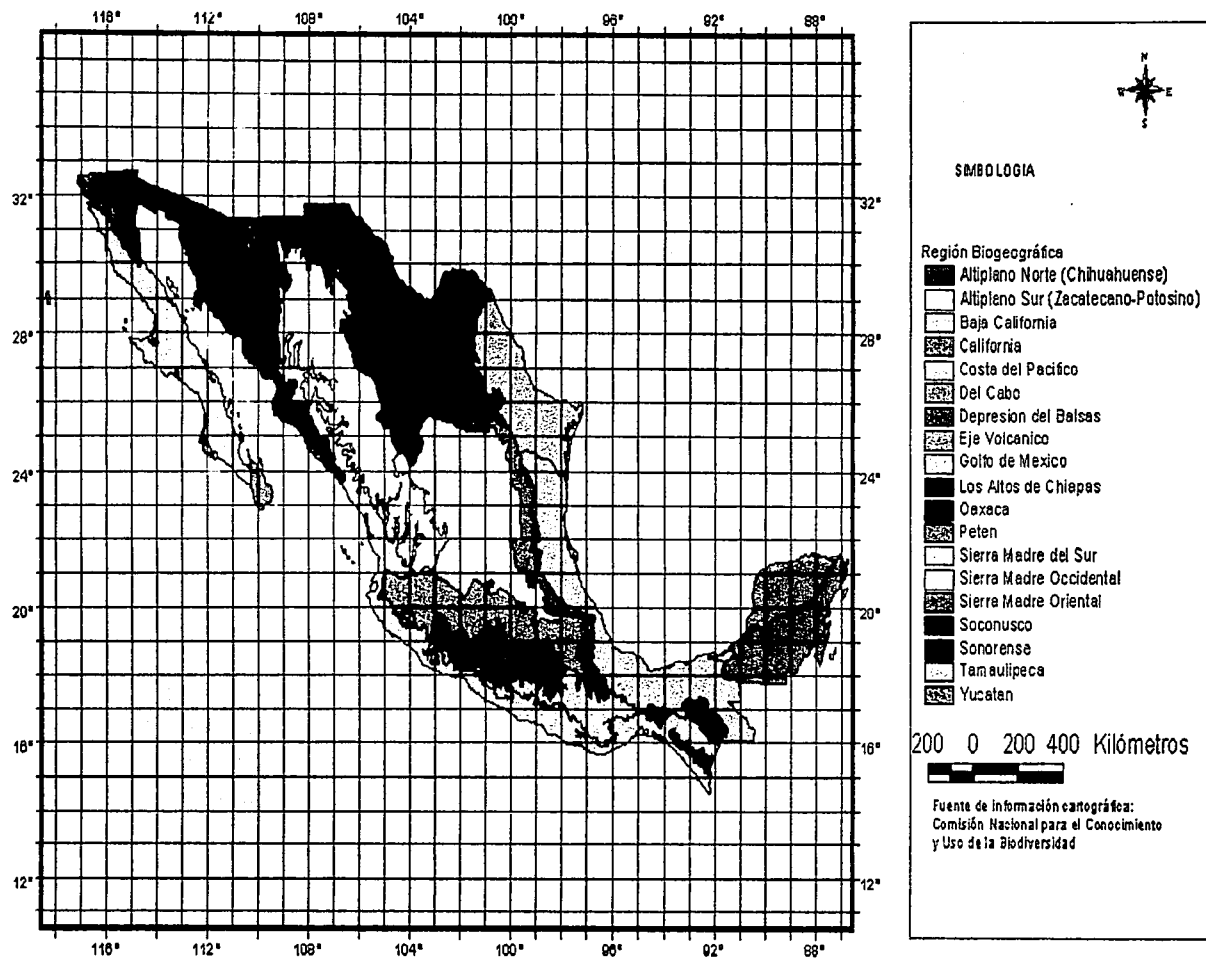


Figura 18. Áreas consenso (ordenadas por jerarquía) para la conservación *in situ* del género *Agave* en México.



Apéndice 1. Coordenadas usadas para ubicar los cuadrados.





Apéndice 2. Principales rasgos fisiográficos (Conabio, 2000)

### Apéndice 3. Especies raras (distribución restringida)

Especies que se distribuyen en:

#### 1 cuadrado

*L. chiapensis*  
*L. ellemetiana*  
*L. geminiflora*  
*L. guiengola*  
*L. nizandensis*  
*L. peacockii*  
*L. stricta*  
*L. titanota*  
*L. triangularis*  
*L. wendtii*  
*L. sp1*  
*L. sp2*  
*A. applanata*  
*A. guadalajarana*  
*A. kewensis*  
*A. lurida*  
*A. macroacantha*  
*A. montana*  
*A. moranii*  
*A. nayaritensis*  
*A. neomexicana*  
*A. oroensis*  
*A. pachycentra*  
*A. stringens*  
*A. zebra*

#### 2 cuadrados

*L. dasyliroides*  
*L. wareliana*  
*L. bakeri*  
*L. filifera*  
*L. funkiana*  
*L. horrida*  
*L. impressa*  
*L. obscura*  
*L. orinothobroma*  
*L. pendula*  
*L. petrophila*  
*L. tenuifolia*  
*A. avellanidens*  
*A. congesta*  
*A. fortiflora*  
*A. gracilipes*  
*A. gypsophila*  
*A. hiemiflora*  
*A. isthmensis*  
*A. jaiboli*  
*A. karwinskii*  
*A. margaritae*  
*A. murpheyi*  
*A. promontorii*  
*A. pygmae*  
*A. scaposa*  
*A. vizcainoensis*

#### 3 cuadrados

*L. attenuata*  
*L. bracteosa*  
*L. colimana*  
*L. difformis*  
*L. multifilifera*  
*L. pelona*  
*L. victoriae-reginae.*  
*L. xilonacantha*  
*A. aktites*  
*A. breedlovei*  
*A. capensis*  
*A. durangensis*  
*A. parrasana*  
*A. sebastiana*  
*A. cupreata*

**Apéndice 4. Matriz de las características morfológicas consideradas para realizar la filogenia de los grupos taxonómicos del género *Agave*.**

Taxa	Tamaño roseta (m) 0 = < 0.4 1 = 0.5 - 1 2 = 1.1 - 2 3 = > 2	Tallo aéreo 0 = ausente 1 = presente	Consistencia de hojas 0 = no suculenta 1 = suculenta 2 = corácea	Forma hojas 0 = deltoide 1 = lanceolada 2 = ovals 3 = lineares	Hoja estriada 0 = ausente 1 = presente	Superficie de la hoja 0 = lisa 1 = escabrosa 2 = pubescente	Tipo de margen 0 = entero 1 = crenado
L Amolae	0, 1 y 3	0 y 1	1	0 y 2	0	0	0
L Choritepalae	1	0	1	0 y 2	0	0	0
L Filiferae	0 y 1	0 y 1	1	0, 1, y 3	0	0 y 1	2
L Marginatae	0, 1 y 2	0 y 1	1	0 y 1	0	0	0 y 1
L Parviflorae	0 y 1	0	1	0, 1 y 3	0	0	2
L Polycephalae	0	0	1	1 y 2	0	0	0
L Striatae	1	0	0	3	1	0	0
L Urceolate	0	0	1	1	0	0	0
A Americanae	2 y 3	0	1	1 y 3	0	0 y 1	0 y 1
A Campaniflorae	1 y 2	0	1	1	0	0	0 y 1
A Crenatae	1 y 2	0 y 1	1	1 y 2	0	0	1
A Deserticolae	1 y 2	0 y 1	1	1	0	0	0 y 1
A Ditepalae	0, 1 y 2	0	0	1	0	0 y 1	0
A Hiemiflorae	1 y 3	0	1	1 y 2	0	0	0 y 1
A Marmoratae	1 y 2	0	0 y 1	1 y 3	0	1	1
A Parrayanae	0 y 1	0	1	1 y 2	0	0	0
A Rigidae	0, 1, 2 y 3	1	0	0 y 1	0	0	0
A Salmianae	2	0	1	1	0	0 y 1	0
A Sisalanae	1 y 2	0 y 1	1	1	0	0	0
A Umbelliflorae	1 y 2	1	1	1 y 2	0	0	0 y 1
<i>Manfreda</i>	0	0	1	0	0	0 y 2	0
<i>Furcraea</i>	2 y 3	1	0	1 y 3	0	0 y 2	0 y 1
<i>Yucca</i>	2	1	0	2	0	0	2
<i>Beschorneria</i>	1 y 2	0	0	0	0	0	0

Taxa	Consistencia del margen 0 = no córneo 1 = córneo	Dientes 0 = ausentes 1 = denticulados 2 = dentados	Forma dientes 0 = inválida 1 = uniforme 2 = irregular	Espina terminal (hoja) 0 = ausente 1 = presente	Hábito herbáceo 0 = ausente 1 = presente	Brácteas carnosas 0 = ausente 1 = presente	Bulbilos 0 = ausente 1 = presente
L Amolae	0	0 y 1	0 y 1	0 y 1	0	0	0 y 1
L Choritepalae	0	0 y 1	0 y 1	0	0	0 y 1	0
L Filiferae	0	0	0	1	0	0	0
L Marginatae	1	1 y 2	1 y 2	1	0	0	0
L Parviflorae	0	1	1	1	0	0	0
L Polycephalae	0	1 y 2	1 y 2	1	0	0	0
L Striatae	0	2	1	1	0	0	0
L Urceolate	0	1	2	1	0	0	0
A Americanae	0 y 1	2	1	1	0	0	0
A Campaniflorae	0	2	1	1	0	0	0
A Crenatae	0	1 y 2	2	1	0	0	0
A Deserticolae	0 y 1	1 y 2	2	1	0	0	0
A Ditepalae	0	2	2	1	0	0	0 y 1
A Hiemiflorae	0	1 y 2	2	1	0	0	0
A Marmoratae	0	1 y 2	2	1	0	0	0
A Parrayanae	0	2	2	1	0	0	0
A Rigidae	0	1	1	1	0	0	1
A Salmianae	0	2	2	1	0	1	0
A Sisalanae	0	0 y 1	0 y 1	1	0	0	1
A Umbelliflorae	0 y 1	2	2	1	0	1	0
<i>Manfreda</i>	0	0	0	0 y 1	1	0	0
<i>Furcraea</i>	0	1	1	0	0	0	1
<i>Yucca</i>	0	0	0	1	0	0	0
<i>Beschorneria</i>	0	0	0	0	0	0	0

Taxa	Forma de los bulbilos 0 = inválida 1 = bracteados 2 = foliosos	Tipo de inflorescencia 0= espigada 1= racemosa 2= paniculada 3= umbelada	Tamaño flor 0 = ≤ 5 cm 1 = > 5 cm	Forma flor 0= cilíndrica 1= campanulada 2= urceolada 3 = abierta	Estambres 0 = exertos 1 = insertos	Inserción filamentos en el tubo 0 = base 1 = mitad 2 = ápice	Tubo 0 = ausente 1 = presente
L Amolae	2	0	0	1	0	2	1
L Choritepalae	0	1	0	3	0	0	0
L Filiferae	0	0	0	0	0	2	1
L Marginatae	0	0 y 1	0	0 y 1	0	2	1
L Parviflorae	0	0 y 1	0	0	0	0, 1 y 2	1
L Polycephalae	2	0	0 y 1	0	0	2	1
L Striatae	0	0	0	0 y 1	0	1	1
L Urceolate	0	0, 1 y 2	0	2	0	0, 1 y 2	1
A Americanae	0	2	1	0	0	1	1
A Campaniflorae	0	2	0 y 1	1	0	1	1
A Crenatae	0	2	1	0	0	1 y 2	1
A Deserticolae	0	2	0	1	0	2	1
A Ditepalae	2	2	1	0	0	1	1
A Hiemiflorae	2	1 y 2	0	0	0	1	1
A Marmoratae	2	2	0	1	0	1 y 2	1
A Parrayanae	0	2	0 y 1	0	0	1 y 2	1
A Rigidae	2	2	0 y 1	0	0	2	1
A Salmianae	0	2	1	0	0	1	1
A Sisalanae	2	2	0 y 1	0	0	1	1
A Umbelliflorae	0	3	1	1	0	1	1
<i>Manfreda</i>	0	0	0	0	0	0 y 1	1
<i>Furcraea</i>	1 y 2	2	0 y 1	1	1	0	0
<i>Yucca</i>	0	2	0	1	1	0	0
<i>Beschorneria</i>	0	2	1	0	1	0	0

Taxa	Forma del tubo	Relación tubo/tépalos	Relación ovario/tépalos	Polen	Posición ovario	Rizoma	Número de flores/nudo
	0 = inválida 1 = tubular 2 = infundibili- forme 3 = "ollita"	0 = inválida 1 = tubo + largo que tépalos 2 = tubo + corto que tépalos 3 = tubo = tépalos	0 = ovario = tépalos 1 = ovario más largo que tépalos 2 = ovario más corto que tépalos	0 = mónadas 1 = tétradas	0 = súpero 1 = ínfero	0 = erecto 1 = horizontal	1 = 1 2 = 2 3 = 1 - 4 4 = 1 - 6
L Amolae	2	2	0 y 1	0	1	1	2
L Choritepalae	0	0	1	0	1	1	2
L Filiferae	2	2	0, 1 y 2	0	1	1	2
L Marginatae	2	2	0 y 1	0	1	1	2
L Parviflorae	1	1, 2 y 3	1 y 2	0	1	1	2
L Polycephalae	1 y 2	2 y 3	0 y 2	0	1	1	2
L Striatae	1	1	0 y 1	0	1	1	2
L Urceolate	3	2	1	0	1	1	2
A Americanae	2	2 y 3	1	0	1	1	2
A Campaniflorae	3	2 y 3	1	0	1	1	2
A Crenatae	2 y 3	2	0 y 1	0	1	1	2
A Deserticolae	1 y 3	2	1	0	1	1	2
A Ditepalae	1	1	0	0	1	1	2
A Hiemiflorae	2	1	1	0	1	1	2
A Marmoratae	1	2	1	0	1	1	2
A Parrayanae	1 y 2	2	1	0	1	1	2
A Rigidae	2	1	0 y 1	0	1	1	2
A Salmianae	1	2	1	0	1	1	2
A Sisalanae	1 y 3	2 y 3	0 y 1	0	1	1	2
A Umbelliflorae	2	1	1	0	1	1	2
<i>Manfreda</i>	1	1 y 2	2	0	1	0	1
<i>Furcraea</i>	0	0	0 y 1	1	1	1	4
<i>Yucca</i>	0	0	2	0	0	1	1
<i>Beschorneria</i>	0	0	2	1	1	1	3