



Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México

Biodiversity of Pinophyta (conifers) in Mexico

David S. Gernandt¹✉ y Jorge A. Pérez-de la Rosa²

¹Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado postal 70-367, 04510 México, D. F., México.

²Departamento de Botánica y Zoológica, Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Apartado postal 139, 45110 Zapopan, Jalisco, México.
✉ dgernandt@ibiologia.unam.mx

Resumen. Las coníferas (Pinophyta) son árboles o arbustos con hojas simples y estructuras fértiles arregladas en conos polínicos simples y conos ovulados compuestos, excepto en Taxaceae. Las coníferas son los componentes dominantes de diversos tipos de vegetación. En México crecen desde el nivel del mar hasta por encima de los 4 000 m; la mayor diversidad se encuentra en los bosques montañosos de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental. Están representadas por 4 familias: Pinaceae (4 géneros y 61 especies), Cupressaceae (4 géneros y 29 especies), Podocarpaceae (1 género y 3 especies) y Taxaceae (1 especie). De las 94 especies de coníferas mexicanas, 43 son endémicas del país, de éstas 18 tienen un rango de distribución limitado a 3 o menos estados.

Palabras clave: coníferas, conos, especies, distribución.

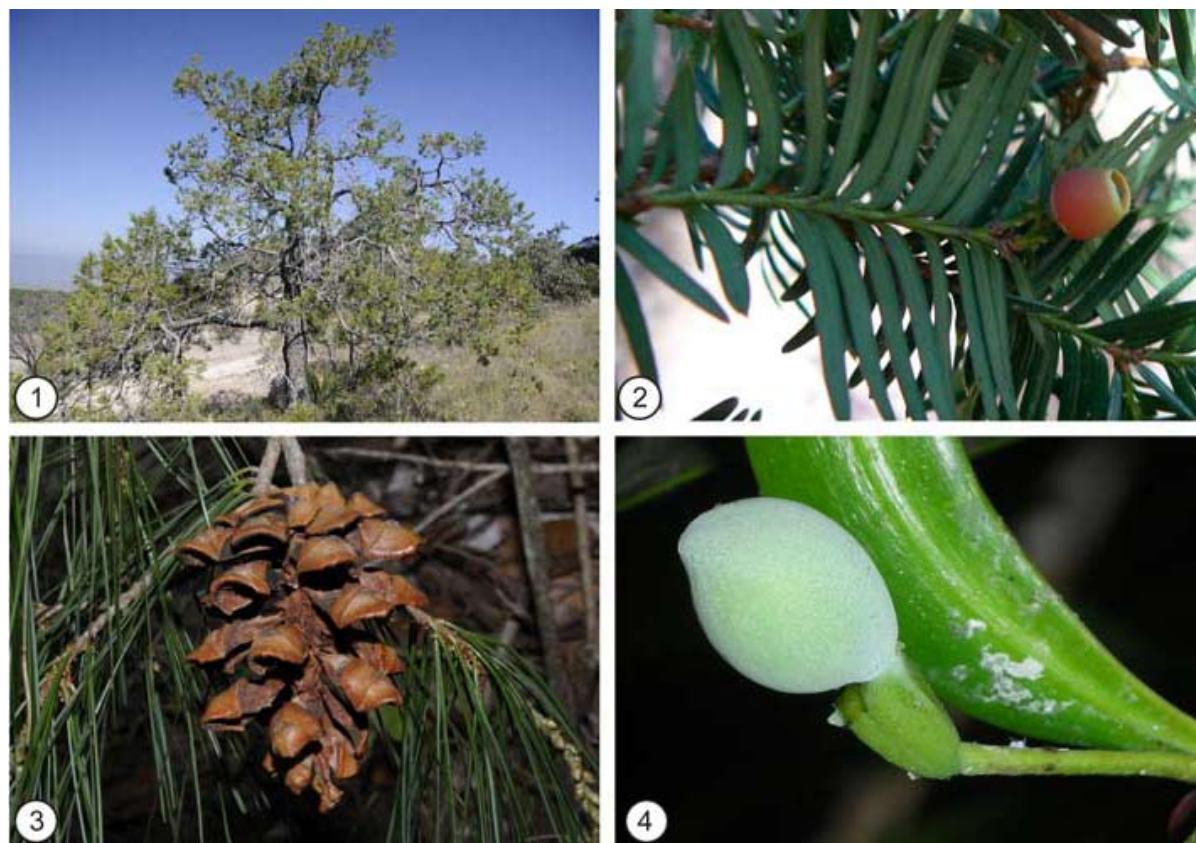
Abstract. Conifers (Pinophyta) are woody trees or shrubs with simple leaves and reproductive structures arranged in simple pollen cones and (except in Taxaceae) compound seed cones. They are dominant components of several vegetation types. In Mexico conifers grow from sea level to above 4 000 m, with the greatest diversity concentrated in montane forests of the Sierra Madre Occidental and Sierra Madre Oriental. Four families have natural distributions in the country: Pinaceae (4 genera and 61 species), Cupressaceae (4 genera and 29 species), Podocarpaceae (1 genus and 3 species), and Taxaceae (1 species). Of the 94 Mexican conifer species, 43 are endemic to the country, 18 with ranges restricted to 3 or fewer states.

Key words: conifers, cones, species, distribution.

Introducción

Las coníferas (Pinophyta o Coniferophyta) son árboles o arbustos dioicos o monoicos con la corteza rugosa o lisa, en placas grandes y gruesas con fisuras o en tiras largas y delgadas (Figs. 1-4). Las ramas laterales están bien desarrolladas. Las hojas son simples y pueden ser en forma de aguja, escama, lineares, lanceoladas, a veces oblongas o falcadas. Por lo general las hojas son persistentes por más de un año, pero a veces son deciduas. Su madera posee un xilema compacto compuesto principalmente de traqueidas con paredes gruesas y poros uniseriados o multiseriados. En contraste con angiospermas, el xilema carece de vasos. Frecuentemente presentan canales resiníferos en su madera, la corteza, las hojas o los conos. Los estróbilos o conos, son monoesporangiados. Los conos microesporangiados o polínicos son simples, formados de microesporófilas arregladas en forma de hélice alrededor de un eje central

y de 2 a muchos microesporangios ubicados distalmente en la cara abaxial. Los granos de polen en algunas especies presentan sacos aeríferos. Los conos ovulados están formados por un complejo bráctea-escama que se arregla helicoidalmente alrededor de un eje central; sin embargo, en Podocarpaceae y Taxaceae están típicamente reducidos a 1 o 2 escamas con un solo óvulo. Estos conos son típicamente leñosos, pero en *Juniperus* son fibrosos o carnosos, y en Podocarpaceae y en Taxaceae, los óvulos por lo general están cubiertos por estructuras estériles, carnosas y de colores comúnmente llamativas (presuntamente una adaptación para la zoocoria) denominadas epimacios y arilos, respectivamente; los conos se desarrollan durante un año en la mayoría de especies, aunque en *Pinus* y en algunas especies de *Juniperus* tardan 2 o hasta 3 años. El complejo de bráctea-escama puede ser libre o fusionado y presentar 1 o muchos óvulos en su cara adaxial, que estarán expuestos al momento de la polinización; este es un carácter propio de todas las gimnospermas (las coníferas, las cícadas, *Ginkgo* y las gnetofitas). El micrópilo en algunos grupos está orientado hacia la parte distal y en



Figuras 1-4. Ejemplos de coníferas mexicanas. 1, *Juniperus deppeana*. 2, *Taxus globosa*. 3, *Pinus pinea*. 4, *Podocarpus matudae*.

otros está dirigido hacia el eje (los óvulos están invertidos). Las semillas de la mayoría de las especies en Cupressaceae y Pinaceae presentan un ala que les facilita la dispersión por el viento, o por el agua en *Taxodium*; la semilla carece de un ala en *Juniperus*, Podocarpaceae y Taxaceae, y el ala es vestigial en los pinos piñoneros, en donde aves u otros animales llevan a cabo la dispersión. El número de cotiledones es de 2 a 15, excepcionalmente 25 en *Pinus maximartinezii*.

Las coníferas vivientes han sido consideradas como un grupo natural por mucho tiempo, aunque Taxaceae fue clasificado por algunos autores en un orden separado (Taxales), sobre todo porque carecen de conos ovulados reconocibles (Florin, 1954). Los análisis filogenéticos ubican a Taxaceae con las demás coníferas. Adicionalmente, los análisis filogenéticos de secuencias de DNA han establecido una relación estrecha entre las coníferas y las gnetofitas, incluso se han encontrado filogenias en las cuales las gnetofitas se derivan de las coníferas, por ejemplo, como un grupo hermano a Pinaceae (la hipótesis gnepine; revisada por Mathews, 2009). Las coníferas y

las gnetofitas comparten varios caracteres de su madera y los 2 grupos tienen hojas y conos polínicos simples; sin embargo, esta relación estrecha entre los 2 grupos de gimnospermas está en conflicto con los resultados filogenéticos basados en caracteres morfológicos, los cuales encuentran a las gnetofitas como el grupo hermano a las angiospermas (la hipótesis antofita); estos 2 grupos comparten los vasos vasculares en la madera y la doble fertilización. Filogenias moleculares con más caracteres han ubicado a las coníferas como un grupo monofilético y a las gnetofitas como un clado independiente (Rai et al., 2008; Lee et al., 2011).

Entre las coníferas se incluyen algunas de las plantas más grandes y longevas; el árbol más alto es *Sequoia sempervirens* Endl. (hasta 115 m), el más masivo es *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) J. Buchholz (>1 400 m 3) y el de mayor edad es *Pinus longaeva* D. K. Bailey (de c. 4 700 años). En México, el árbol nacional, el “ahuehuete” (*Taxodium mucronatum*), llega a tener un tronco de más de 12 m de diámetro (el árbol de Tule en Oaxaca). Existen además, especies de crecimiento

arbustivo como por ejemplo *Juniperus monticola* o *Pinus culminicola*, que a veces miden menos de 1 m de altura y árboles que alcanzan hasta 70 m, como *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* (Farjon y Styles, 1997; Farjon, 2010; Ricker y Hernández, 2010).

En México las coníferas están presentes en diversos tipos de vegetación. De acuerdo con Rzedowski (1978) se encuentran en el bosque de pino, matorral de pino, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque o matorral de *Juniperus* y bosque de *Cupressus* (= *Callitropsis*). Además, habitan en otros tipos de vegetación como el bosque mesófilo de montaña, bosque mixto (por ejemplo, bosque de pino-encino), matorral xerófilo y bosque de galería (el hábitat de *Taxodium mucronatum*).

La fase del esporofito domina en las coníferas y esta etapa alcanza a durar hasta cientos o miles de años. El ciclo reproductivo, el cual comprende desde la iniciación de las yemas hasta la liberación de semillas, dura alrededor de 17 meses en *Pseudotsuga menziesii* (Allen y Owens, 1972) y de 2 a 3 años en otras especies (Tomlinson y Takaso, 2002). Los primordios de las yemas vegetativas inician un aumento en su actividad, comúnmente a inicios de la primavera, con una diferenciación en los conos polínicos y ovulados evidente a finales de la primavera o a inicios del verano. La esporogénesis mediante meiosis dura de pocos meses a un año, según la especie, con una etapa de latencia en el invierno. En la siguiente primavera los conos polínicos liberan grandes cantidades de polen, el cual es dispersado por el viento y algunos granos aterrizan en los conos ovulados. Los conos por lo general están erectos y los granos de polen pasan entre las escamas para entrar al canal del micrópilo. En las especies de coníferas que presentan polen con sacos aeríferos, éste último es atraído dentro del micrópilo mediante una “gota polinizadora”, aunque en Cupressaceae, Taxaceae y en algunos géneros como *Pseudotsuga* el polen carece de sacos aeríferos y los óvulos no producen la gota polinizadora. El polen germina para formar un tubo polínico, el cual crece entre la nucela y hacia la célula huevo; eventualmente penetra el arquegonio y libera sus contenidos, que incluyen 2 gametos de tamaños desiguales y que carecen de flagelo. El gameto de mayor tamaño entra en la célula huevo y el de menor tamaño eventualmente se degenera. La embriogénesis se inicia al momento de la fertilización, resultando en un embrión diploide compuesto de radícula, hipocótilo y 2 o más cotiledones. Las semillas maduran y posteriormente son liberadas de los conos.

Diversidad

De las 6 familias de coníferas reconocidas a nivel mundial, 4 están presentes en México: Cupressaceae,

Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae (Figs. 1-4; Cuadro 1). Las 2 familias restantes son la monotípica Sciadopityaceae (*Sciadopitys verticillata* (Thunb.) Siebold et Zucc.) de Japón y la familia Araucariaceae representada por 3 géneros distribuidos en el hemisferio sur. Sólo 10 de los 71 géneros de coníferas están presentes en el país. Hay poco acuerdo en el número de especies de coníferas, por ejemplo Eckenwalder (2009) reconoce 546 especies en el mundo, mientras que Farjon (2010) reconoce 615. Estas aportaciones se basan en un concepto amplio de especie; sin embargo, otras obras al nivel de género adoptaron conceptos más estrechos, citando un mayor número de especies, en particular para los géneros más diversos como *Abies* (Liu, 1971), *Pinus* (Martínez, 1948; Perry, 1991; Styles, 1993), *Callitropsis* (Little, 2006) y *Juniperus* (Adams, 2011). Estimamos que hay 670 especies de coníferas a nivel mundial, de las cuales 94 (14%) tienen una distribución natural en el país (Cuadro 2). Estas cifras son mayores que las 77 especies mexicanas reconocidas por Eckenwalder (2009) o las 74 especies reconocidas por Farjon (2010), pero son menores que las 104 especies reconocidas por Debreczy y Rácz (2011). Algunos clados de coníferas probablemente sufrieron diversificación reciente, seguidos por migración, contacto secundario e hibridación. Entre las coníferas mexicanas, se han observado altos niveles de variabilidad en su morfología y bajos niveles de diferenciación interespecífica para *Pinus* (Mirov, 1967; Perry, 1991; Delgado et al., 2007; Gernandt et al., 2009; Moreno y Piñero, 2009), *Abies* (Jaramillo-Correa et al., 2008; Strandby et al., 2009; Aguirre-Planter et al., 2012) y *Callitropsis* (Rosas-Escobar et al., 2009). La diversificación reciente seguida por flujo génico y bajas tasas de evolución pueden haber resultado en límites poco definidos entre las especies en estos géneros.

México es un centro secundario de diversificación del género *Pinus*, con 49 (40%) de las aproximadamente 120 especies en el mundo. Otros géneros que tienen porcentajes altos de especies en el país son *Callitropsis*, con 7 de las 18 especies (39%; aquí aceptamos la transferencia de los

Cuadro 1. Diversidad florística de las familias de coníferas mexicanas

Familia	Géneros	Especies	Taxa	Especies endémicas
Cupressaceae	4	29	35	13
Pinaceae	4	61	74	30
Podocarpaceae	1	3	3	0
Taxaceae	1	1	1	0
Total	10	94	113	43

Cuadro 2. Coníferas distribuidas de manera natural en México

Familia y género	Especie
Cupressaceae	
<i>Calocedrus</i>	<i>C. decurrens</i> (Torr.) Florin
<i>Callitropsis</i>	<i>C. arizonica</i> (Greene) D. P. Little, <i>C. benthamii</i> (Endl.) D. P. Little, <i>C. forbesii</i> (Jeps.) D. P. Little, <i>C. guadalupensis</i> (S. Watson) D. P. Little, <i>C. lusitanica</i> (Mill.) D. P. Little, <i>C. montana</i> (Wiggins) D. P. Little, <i>C. stephensonii</i> (C. B. Wolf) D. P. Little
<i>Juniperus</i>	<i>J. angosturana</i> R. P. Adams, <i>J. arizonica</i> (R. P. Adams) R. P. Adams, <i>J. ashei</i> J. T. Buchholz var. <i>ovata</i> R. P. Adams, <i>J. blanca</i> Martínez var. <i>blanca</i> , <i>J. blanca</i> var. <i>huehuentensis</i> R. P. Adams, S. González et M. González Elizondo, <i>J. blanca</i> Martínez var. <i>mucronatum</i> R. P. Adams, <i>J. californica</i> Carrière, <i>J. coahuilensis</i> (Martínez) Gaussen ex R. P. Adams, <i>J. comitana</i> Martínez, <i>J. deppeana</i> Steud. var. <i>deppeana</i> , <i>J. deppeana</i> Steud. var. <i>pachyphlaea</i> (Torr.) Martínez, <i>J. deppeana</i> Steud. var. <i>sperryi</i> Correll, <i>J. deppeana</i> Steud. var. <i>zacatecensis</i> Martínez, <i>J. durangensis</i> Martínez var. <i>durangensis</i> , <i>J. durangensis</i> Martínez var. <i>topiensis</i> R. P. Adams et S. González, <i>J. flaccida</i> Schltdl. var. <i>flaccida</i> , <i>J. flaccida</i> Schltdl. var. <i>poblana</i> Martínez, <i>J. gamboana</i> Martínez, <i>J. jaliscana</i> Martínez, <i>J. martinezii</i> Pérez de la Rosa, <i>J. monosperma</i> (Engelm.) Sarg., <i>J. monticola</i> Martínez, <i>J. pinchotii</i> Sudw., <i>J. saltillensis</i> M. T. Hall, <i>J. scopulorum</i> Sarg., <i>J. standleyi</i> Steyermark, <i>J. zanoni</i> R. P. Adams.
<i>Taxodium</i>	<i>T. mucronatum</i> Ten.
Pinaceae	
<i>Abies</i>	<i>A. concolor</i> (Gordon) Lindl. ex Hildebr., <i>A. durangensis</i> Martínez var. <i>durangensis</i> , <i>A. durangensis</i> Martínez var. <i>coahuilensis</i> (I. M. Johnst.) Martínez, <i>A. flinckii</i> Rushforth, <i>A. guatemalensis</i> Rehd. var. <i>guatemalensis</i> , <i>A. guatemalensis</i> Rehd. var. <i>jaliscana</i> Martínez, <i>A. hickelii</i> Flous et Gaussen var. <i>hickelii</i> , <i>A. hickelii</i> Flous et Gaussen var. <i>oaxacana</i> (Martínez) Farjon et Silba, <i>A. hidalgensis</i> Debreczy, Rácz et Guizar, <i>A. religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham., <i>A. vejarii</i> Martínez var. <i>vejarii</i> , <i>A. vejarii</i> Martínez var. <i>macrocarpa</i> Martínez, <i>A. vejarii</i> Martínez var. <i>mexicana</i> (Martínez) T. S. Liu.
<i>Picea</i>	<i>P. chihuahuana</i> Martínez, <i>P. martinezii</i> T.F. Patt., <i>P. mexicana</i> Martínez.
<i>Pinus</i>	<i>P. arizonica</i> Engelm. var. <i>arizonica</i> , <i>P. arizonica</i> Engelm. var. <i>cooperi</i> (C.E. Blanco) Farjon, <i>P. arizonica</i> Engelm. var. <i>stormiae</i> Martínez, <i>P. attenuata</i> Lemmon, <i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl. var. <i>ayacahuite</i> , <i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl. var. <i>veitchii</i> (Roezl) Shaw, <i>P. californiarum</i> D. K. Bailey, <i>P. caribaea</i> Morelet var. <i>hondurensis</i> (Senecl.) W. H. Barrett et Golfari, <i>P. cembroides</i> Zucc. subsp. <i>cembroides</i> , <i>P. cembroides</i> Zucc. subsp. <i>orizabensis</i> D. K. Bailey, <i>P. chiapensis</i> (Martínez) Andresen, <i>P. chihuahuana</i> Engelm., <i>P. contorta</i> Douglas ex Loudon var. <i>murrayana</i> (Balf.) Engelm., <i>P. coulteri</i> D. Don, <i>P. culminicola</i> Andresen et Beaman, <i>P. devoniana</i> Lindl., <i>P. discolor</i> D. K. Bailey et Hawksw., <i>P. douglasiana</i> Martínez, <i>P. durangensis</i> Martínez, <i>P. engelmannii</i> Carrière, <i>P. georginae</i> Perez de la Rosa, <i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl. var. <i>greggii</i> , <i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl. var. <i>australis</i> Donahue et Lopez, <i>P. hartwegii</i> Lindl., <i>P. herreriae</i> Martínez, <i>P. jaliscana</i> Perez de la Rosa, <i>P. jeffreyi</i> Balf., <i>P. johannis</i> Rob.-Pass., <i>P. lagunae</i> (Rob.-Pass) Passini, <i>P. lambertiana</i> Douglas, <i>P. lawsonii</i> Roezl ex Gordon, <i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. et Cham., <i>P. lumholtzii</i> B. L. Rob et Fernald, <i>P. luzmariae</i> Perez de la Rosa, <i>P. maximartinezii</i> Rzed., <i>P. maximinoi</i> H. E. Moore, <i>P. montezumae</i> Lamb. var. <i>montezumae</i> , <i>P. montezumae</i> Lamb. var. <i>gordoniana</i> (Hartw. ex Gordon) Silba, <i>P. muricata</i> D. Don, <i>P. nelsonii</i> Shaw, <i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl., <i>P. patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham. var. <i>patula</i> , <i>P. patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham. var. <i>longipedunculata</i> Loock ex Martinez, <i>P. pinceana</i> Gordon, <i>P. praetermissa</i> Styles et McVaugh, <i>P. pringlei</i> Shaw, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>pseudostrobus</i> , <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw, <i>P. quadrifolia</i> Parl. ex Sudw., <i>P. radiata</i> D. Don var. <i>binata</i> (Engelm.) Lemmon, <i>P. remota</i> (Little) D. K. Bailey et Hawksw., <i>P. rzedowskii</i> Madrigal et M. Caball., <i>P. scopulorum</i> (Engelm.) Lemmon, <i>P. strobiformis</i> Engelm., <i>P. tecunumanii</i> Egiluz et J. P. Perry, <i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl. et Cham., <i>P. yecorensis</i> Debreczy et Rácz.
<i>Pseudotsuga</i>	<i>P. menziesii</i> (Mirb.) Franco var. <i>glauca</i> (Beissn.) Franco
Podocarpaceae	
<i>Podocarpus</i>	<i>P. guatemalensis</i> Standl., <i>P. matudae</i> Lundell, <i>P. oleifolius</i> D. Don
Taxaceae	
<i>Taxus</i>	<i>T. globosa</i> Schltdl.

cipreses del nuevo mundo de *Cupressus* a *Callitropsis* por Little, 2006), *Juniperus*, con 20 de las 68 especies (30%; Adams, 2011) y *Abies*, con 8 de las 47 especies (17%). Farjon (2010) reporta 1 de 2 especies de *Taxodium* (50%) en el mundo como distribuida naturalmente en México, 1 de las 4 especies de *Pseudotsuga* y de *Calocedrus* (25%), 1 de las 10 especies de *Taxus* (10%;), 3 de las 38 especies de *Picea* (8%) y 3 de 97 de las especies de *Podocarpus* (3%). A pesar de su abundancia en el paisaje, las coníferas representan sólo el 0.4% de las 23 000 especies de plantas vasculares estimadas para el país (Villaseñor, 2004).

La distribución de las coníferas se ha documentado bien, tanto en monografías de géneros y catálogos (p. ej., Liu, 1971; Farjon, 2010; Adams, 2011; Debreczy y Rácz, 2011), como en floras y listados locales (p. ej., Carvajal y McVaugh, 1992; Espinosa-Garduño, 2001; García-Arévalo y González-Elizondo, 2003; Del Castillo et al., 2004). Las coníferas tienen una amplia distribución altitudinal y latitudinal en México. *Pinus* se encuentra desde cerca de la costa de Baja California (*Pinus muricata*) hasta los límites arbóreos de los volcanes más altos del Eje Volcánico Transversal en el sur-centro del país (*Pinus hartwegii* en el Pico de Orizaba, Popocatépetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca y el Nevado de Colima). Según Styles (1993), *Pinus oocarpa* es la especie de pino que tiene una mayor distribución en el trópico, desde el centro de Sonora hasta el norte de Nicaragua. Otras especies con distribución latitudinal muy amplia son *Abies religiosa*, *Pinus devoniana*, *P. cembroides*, *P. douglasiana*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *Juniperus deppeana*, *J. flaccida* y *Taxodium mucronatum*. Varias especies con distribución amplia en el oeste de América del Norte alcanzan su límite más sureño en México, como *Abies concolor*, *Pinus contorta* y *Calocedrus decurrens*. Otras especies como *Pinus greggii*, *P. patula* y *Callitropsis lusitanica* han sido cultivadas ampliamente, incluso en otros países.

Nueve de los 10 géneros de coníferas mexicanas son considerados representativos de la flora templada del hemisferio norte, con especies en los Estados Unidos y algunas en Canadá que alcanzan sus límites sureños en México (*Calocedrus*, *Picea* y *Pseudotsuga*) o en otros países de América Central (*Callitropsis*, *Juniperus*, *Taxodium*, *Abies* y *Pinus*). Solamente *Podocarpus* no pertenece a la flora templada del hemisferio norte. Únicamente 3 especies de *Podocarpus* están presentes en México y con ello queda representando en América el límite norte de distribución del género.

El noroeste de México presenta la mayor riqueza de especies en el país (Cuadro 3). En Jalisco, la sierra Madre Occidental colinda con el Eje Volcánico Transversal, y coincidentemente resulta ser el estado más diverso, con

Cuadro 3. Distribución de coníferas por región geográfica. Las regiones siguen a Farjon y Styles (1997) para *Pinus*. California= Baja California; norte= Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas; oeste = Nayarit, Jalisco, Colima, oeste de Michoacán; noreste= Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Hidalgo; centro= México, D. F., Puebla, Tlaxcala, Morelos, este de Michoacán; sur= Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo

Región	Familias	Genéros	Especies
California	2	5	16
Noroeste	2	7	40
Oeste	3	6	34
Noreste	4	8	37
Centro	4	8	26
Sur	4	8	30

34 especies registradas. Otros estados en el occidente del país con niveles de riqueza altos son Durango (32) y Chihuahua (29). La sierra Madre Oriental en el noreste de México contiene casi tantas especies como la sierra Madre Occidental; los estados con mayor diversidad son Coahuila (28), Nuevo León (24) e Hidalgo (24). En el sur de México, el estado más diverso es Oaxaca (23). Pocas coníferas silvestres se localizan en el sureste de México. *Taxodium mucronatum* está registrada en Tabasco (Martínez, 1950) y *Pinus caribaea* var. *hondurensis* alcanza su límite norte en el sur de Campeche y Quintana Roo (Delgado et al., 2011). No se localizan coníferas silvestres en Yucatán (Martínez, 1963). La mayor concentración de diversidad de géneros de coníferas se localiza en Hidalgo, Veracruz, Puebla y Oaxaca con 8 (*Abies*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Podocarpus*, *Taxus*, *Callitropsis*, *Juniperus* y *Taxodium*).

La mitad de las especies de coníferas mexicanas fueron descritas entre 1770 y 1925, y el 95% fueron descritas hasta antes de 1995 (Fig. 5). Especies nuevas de *Pinus* han sido descubiertas casi exclusivamente con base en caracteres morfológicos (p. ej., Debreczy y Rácz, 1995; Pérez-de la Rosa, 1998, 2009), pero muchos tratamientos taxonómicos también han tomado en cuenta datos moleculares (p. ej., Gernandt et al., 2003, 2009; Little, 2006; Adams, 2011; Adams y Schwarzbach, 2011). Entre los géneros de coníferas más diversos y mejor representados en la flora nacional están *Pinus* y *Juniperus*, en los cuales es posible encontrar especies nuevas para la ciencia. El descubrimiento de más especies puede ser propiciado a través de la exploración de áreas geográficamente inaccesibles, revisión de ejemplares en herbarios, o el uso intensivo de marcadores moleculares para estudiar la variación genética en poblaciones naturales.

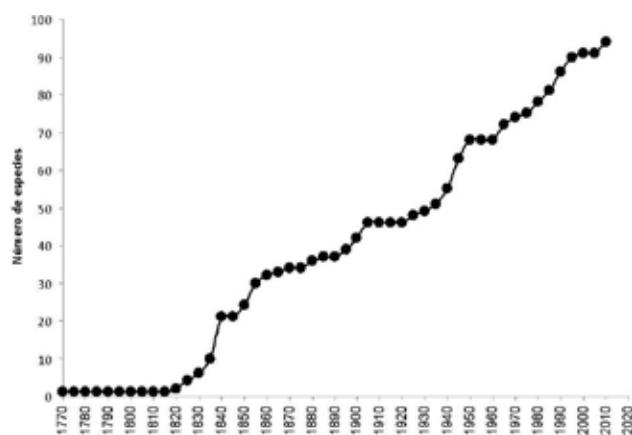


Figura 5. Curva acumulativa de especies por año de descripción.

El endemismo de coníferas mexicanas es alto. De las 94 especies que reconocemos para el país, 43 (46%) son endémicas. *Pinus* cuenta con 22 especies endémicas, *Juniperus* con 10, *Abies* con 5, *Callitropsis* con 3 y *Picea* con 3. Hay 18 especies endémicas que además tienen áreas restringidas a 3 o menos estados. Hay 4 especies más que se distribuyen en Baja California y en pocas poblaciones al lado norte de la frontera con los Estados Unidos en California y hay otra especie restringida a Chiapas y a 2 departamentos de Guatemala (Cuadro 4). *Pinus caribaea* var. *hondurensis* está restringida a sólo 2 estados en México pero es abundante en América Central. En la categoría de género no existen endemismos de coníferas en el país.

Muchos de los bosques de coníferas han sufrido una disminución del área cubierta, desaparecido o cambiado en su composición permitiendo la substitución por

Cuadro 4. Taxa con distribuciones restringidas a 3 o menos estados. Las categorías de riesgo son de la Nom-059-Semarnat-2010. Pr= prioridad, A= amenazada, P= en peligro, NL= no está en la lista

Taxón	Categoría de riesgo	Estados y departamentos (Guatemala)
<i>Abies flinckii</i>	Pr	Jalisco, Michoacán
<i>Abies hickelii</i>	P	Chiapas, Guerrero, Oaxaca
<i>Abies vejarii</i>	A	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas
<i>Picea chihuahuana</i>	P	Chihuahua, Durango
<i>Picea martinezii</i>	P	Nuevo León
<i>Picea mexicana</i>	P	Chihuahua, Nuevo León
<i>Pinus culminicola</i>	P	Coahuila, Nuevo León
<i>Pinus georginae</i>	NL	Jalisco
<i>Pinus jaliscana</i>	P	Jalisco
<i>Pinus lagunae</i>	Pr	Baja California Sur
<i>Pinus luzmariae</i>	NL	Durango, Jalisco, Nayarit
<i>Pinus maximartinezii</i>	P	Durango, Zacatecas
<i>Pinus quadrifolia</i>	Pr	California, Baja California
<i>Pinus radiata</i> var. <i>binata</i>	NL	California, Baja California
<i>Pinus rzedowskii</i>	P	Michoacán
<i>Pinus yecorensis</i>	NL	Sonora, Sinaloa
<i>Callitropsis forbesii</i>	P	California, Baja California
<i>Callitropsis guadalupensis</i>	P	Baja California
<i>Callitropsis montana</i>	Pr	Baja California
<i>Callitropsis stephensonii</i>	NL	California, Baja California
<i>Juniperus jaliscana</i>	NL	Durango, Jalisco
<i>Juniperus standleyi</i>	NL	Chiapas, Huehuetenango, San Marcos
<i>Juniperus zanonii</i>	NL	Coahuila, Nuevo León

angiospermas. Sólo en contados casos sucede la expansión del área, como el de los bosquecillos de pinos piñoneros y juníperos, o el del cultivo a gran escala de algunas especies forestales. Mucha de la disminución del área cubierta por coníferas ha ocurrido en tan sólo la generación actual. Las causas de esta reducción incluyen el constante incremento en la frecuencia de incendios, ocasionados tanto por fenómenos naturales como por el hombre y la tala inmoderada, ya sea para el aprovechamiento directo de la madera y productos secundarios, o para la expansión de la actividad agrícola y pecuaria. Además, las tendencias recientes en el calentamiento climático representan una amenaza para muchas especies. Esto permite contemplar un panorama nada favorable para las masas forestales del país. La constrección progresiva del área original o desaparición total de la población, en cada especie provoca lo que Ledig (1997) menciona como “extinciones ocultas”, ésto refiriéndose a la erosión genética del taxón. La pérdida paulatina de variabilidad adaptativa conlleva en el mediano y largo plazo a la extinción definitiva. Si bien es cierto que en las últimas décadas no se ha apreciado la pérdida total de alguna de las especies conocidas de coníferas dentro del país, tenemos el caso de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltl. var. *manzanoi* Martínez, de la que sólo existe el ejemplar tipo en el Herbario Nacional, recolectado en Hidalgo ya hace más de 7 décadas y nunca más se ha vuelto a ver.

Hay 39 taxa de coníferas que se encuentran en alguna categoría de riesgo (en peligro, amenazadas o sujetas a protección especial) en la Nom-059-Semarnat-2010: *Calocedrus decurrens*, 4 especies de *Callitropsis*, 2 especies de *Juniperus*, 5 especies de *Abies*, las 3 especies de *Picea*, 20 especies de *Pinus*, *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, *Podocarpus matudae* y *Taxus globosa*. Diecisiete especies están designadas como en peligro, de las cuales 12 son endémicas de México y otras son escasas por alcanzar su límite norte o sur en el país. Una especie mencionada en la NOM-059 es *Pinus martinezii* E. Larsen, que es tratada como un sinónimo de *Pinus durangensis*, una especie de amplia distribución por Farjon y Styles (1997). Un taxón omitido de la NOM-059 es *Pinus radiata* var. *binata*. Éste se distribuye de forma insular en la isla Guadalupe y la isla de Cedros. Las coníferas también han sido evaluadas por la IUCN (2012) y 5 especies mexicanas están designadas como casi amenazadas, 9 como vulnerables, 6 como en peligro y 1 (*Picea martinezii*) como en peligro crítico. El número menor de especies en la lista de la IUCN se debe, en parte, a que ésta considera la distribución global de cada especie, mientras que en la NOM-059 están incluidas especies con poblaciones restringidas o amenazadas en México pero amplias en otros países. Otras diferencias en las designaciones entre la NOM-059 y la

IUCN se deben a los diferentes criterios para evaluar las amenazas y a las diferencias en sus clasificaciones. Estas diferencias resaltan la importancia de mejorar el marco conceptual para reconocer a las especies y evaluar el riesgo y de seguir realizando investigación de diversos tipos. Los programas de conservación deben incluir enfoques integrales que incluyan el mantenimiento de hábitats para la conservación *in situ*, la obtención de germoplasma para bancos de semilla y jardines botánicos, y la reforestación en sitios amenazados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Sol Ortiz-García, Luz María González-Villareal, Aaron Liston, Alejandro López-Reyes, Eduardo Domínguez-Licona y 2 revisores anónimos por sus comentarios sobre del manuscrito y a José Luis Villaseñor, Enrique Ortiz y Maribel Paniagua-Ibáñez por recopilar los datos de distribución por estado.

Literatura citada

- Adams, R. P. 2011. Junipers of the world: the genus *Juniperus*, tercera edición. Trafford Publishing Co., Bloomington. 426 p.
- Adams, R. P. y A. E. Schwarzbach. 2011. DNA barcoding a juniper: the case of the south Texas Duval County juniper and serrate junipers of North America. *Phytologia* 93:146-154.
- Aguirre-Planter E., J. P. Jaramillo-Correa, S. Gomez-Acevedo, D. P. Khasa, J. Bousquet y L. E. Eguiarte. 2012. Phylogeny, diversification rates and species boundaries of Mesoamerican firs (*Abies*, Pinaceae) in a genus-wide context. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 62:263-274.
- Allen, G. S. y J. N. Owens. 1972. The life history of Douglas fir. *Information Canada*, Ottawa. 139 p.
- Carvajal, S. y R. McVaugh. 1992. *Pinus*. In *Flora Novogaliciana*, R. McVaugh (ed.). Contributions from the University of Michigan Herbarium 17:32-100.
- Debreczy, Z. e I. Rácz. 1995. New species and varieties of conifers from Mexico. *Phytologia* 78:217-243.
- Debreczy, Z. e I. Rácz. 2011. Conifers around the world. Vols. 1-2. DendroPress Ltd., Budapest. 1089 p.
- Del Castillo, R. F., J. A. Pérez-de la Rosa, G. Vargas-Amado y R. Rivera-García. 2004. Coníferas. In *Biodiversidad de Oaxaca*, A. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.). México D. F., Instituto de Biología UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fundation. p. 141-158.
- Delgado, P., D. Piñero, V. Rebolledo, L. Jardón y F. Chi. 2011. Genetic variation and demographic contraction of the remnant populations of Mexican Caribbean pine (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*: Pinaceae). *Annals of Forest Science* 68:121-128.
- Delgado, P., R. Salas-Lizana, A. Vázquez-Lobo, A. Wegier, M.

- Anzidei, E. R. Álvarez-Buylla, G. G. Vendramin y D. Piñero. 2007. Introgressive hybridization in *Pinus montezumae* Lamb. and *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Pinaceae): Morphological and molecular (cpSSR) evidence. International Journal of Plant Sciences 168:861-875.
- Eckenwalder, J. E. 2009. Conifers of the world: the complete reference. Timber Press, Portland. 720 p.
- Espinosa-Garduño, J. 2001. Gymnospermae. In Flora fanerogámica del Valle de México, segunda edición, G. C. de Rzedowski y J. Rzedowski (eds.). Instituto de Ecología A. C.-Conabio, Pátzcuaro. p. 44-55.
- Farjon, A. 2010. A handbook of the world's conifers. Brill, Leiden. 1111 p.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica monograph 75. The New York Botanical Garden, Bronx, New York. 291 p.
- Florin, R. 1954. The female reproductive organs of conifers and taxads. Biological Reviews 29:367-389.
- García-Arévalo, A. y M. S. González-Elizondo. 2003. Pináceas de Durango, segunda edición. Instituto de Ecología A. C., Xalapa. 187 p.
- Gernandt, D. S., S. Hernández-León, E. Salgado-Hernández y J. A. Pérez-de la Rosa. 2009. Phylogenetic relationships of *Pinus* subsection *Ponderosae* inferred from rapidly evolving cpDNA regions. Systematic Botany 34:481-491.
- Gernandt, D. S., D. Piñero y A. Liston. 2003. Phylogenetics of *Pinus* subsections *Cembroides* and *Nelsoniae* inferred from cpDNA sequences. Systematic Botany 28:657-673.
- IUCN. 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <http://www.iucnredlist.org/>; última consulta: 6.II.2013.
- Jaramillo-Correa, J. P., E. Aguirre-Planter, D. P. Khasa, L. E. Eguiarte, D. Piñero, G. R. Fournier y J. Bousquet. 2008. Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala. Molecular Ecology 17:2476-2490.
- Ledig, F. T. 1997. Conservación y manejo de los recursos genéticos forestales. In Manejo de recursos genéticos forestales, H. Vargas, V. B. Bermejo y F. T. Ledig (eds.). Colegio de Postgraduados y Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. p. 1-21.
- Lee, E. K., A. Cibrian-Jaramillo, S. O. Kolokotronis, M. S. Katari, A. Stamatakis, M. Ott, J. C. Chiu, D. P. Little, D. W. Stevenson, W. R. McCombie, R. A. Martienssen, G. Coruzzi y R. DeSalle. 2011. A functional phylogenomic view of the seed plants. PLoS Genetics 7:e1002411.
- Little, D. P. 2006. Evolution and circumscription of the true cypresses (Cupressaceae: *Cupressus*). Systematic Botany 31:461-480.
- Liu, T. S. 1971. A monograph of the genus *Abies*. Department of Forestry College of Agriculture, National Taiwan University, Taipei. 608 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos, segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 361 p.
- Martínez M. 1950. El ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 21:25-82.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas, tercera edición. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 400 p.
- Mathews, S. 2009. Phylogenetic relationships among seed plants: persistent questions and the limits of molecular data. American Journal of Botany 96:228-236.
- Mirov, N. T. 1967. The genus *Pinus*. Ronald Press Co., New York. 602 p.
- Moreno, A. y D. Piñero. 2009. Phylogeographic structure of *Pinus strobus* Engelm. across the Chihuahuan Desert filter-barrier. Journal of Biogeography 36:121-131.
- Pérez-de la Rosa, J. A. 1998. Promoción de una variedad de pino serotino mexicano a nivel de especie. Boletín del Instituto de Botánica 5:127-135.
- Pérez-de la Rosa, J. A. 2009. *Pinus georginae* (Pinaceae), a new species from western Jalisco, Mexico. Brittonia 61:56-61.
- Perry, Jr., J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland. 231 p.
- Rai, H. S., P. A. Reeves, R. Peakall, R. G. Olmstead y S. W. Graham. 2008. Inference of higher-order conifer relationships from a multi-locus plastid data set. Canadian Journal of Botany 86:658-669.
- Ricker, M. y H. M. Hernández. 2010. Tree and tree-like species of Mexico: gymnosperms, monocotyledons, and tree ferns. Revista Mexicana de Biodiversidad 81:27-38.
- Rosas-Escobar, P., D. S. Gernandt, D. Piñero y P. P. Garcillán. 2011. Plastid DNA diversity is higher in the island endemic Guadalupe cypress than in the continental Tecate cypress. PLoS One 6:e16133.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, Mexico, D.F. 504 p.
- Semarnat, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 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. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección, México.
- Strandby, U., K. I. Christensen y M. Sørensen. 2009. A morphometric study of the *Abies religiosa-hickelii-guatemalensis* complex (Pinaceae) in Guatemala and Mexico. Plant Systematics and Evolution 280:59-76.
- Styles, B. T. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. In Biological diversity of Mexico: origin and distribution, T. P. Ramamoorthy, R. Bye y A. Lot (eds.). Oxford University Press, New York. p. 397-420.
- Tomlinson, P. B. y T. Takaso. 2002. Seed cone structure in conifers in relation to development and pollination: a biological approach. Canadian Journal of Botany 80:1250-1273.
- Villaseñor, J. L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75:105-135.