

Análisis de contingencia de la distribución natural de pinos mexicanos en categoría de riesgo

Contingency analysis of natural distribution of Mexican pines in risk category

Ramiro Pérez-Miranda¹ , Efraín Velasco Bautista¹ ,
Martín Enrique Romero-Sánchez^{1,‡}  y Jonathan Hernández-Ramos¹ 

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Progreso 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán. 04010 Ciudad de México, México.

[‡] Autor para correspondencia (romero.martin@inifap.gob.mx)

RESUMEN

Los estudios sobre la distribución natural de especies son necesarios para determinar el efecto de las condiciones sociales y ambientales en su distribución espacial. Los objetivos de este trabajo fueron conocer la distribución natural de especies de pino, consideradas en riesgo por las leyes mexicanas e identificar la posible asociación entre estas categorías y factores socio-ambientales (marginación, degradación de suelos y productividad forestal). Para esto, se integró una base de datos sobre ubicación y características socioeconómicas de los pinos creada a partir de diversas fuentes. La independencia entre las categorías de riesgo de los pinos y los factores socio-ambientales se evaluó mediante un análisis de contingencia, el cual considera como estadístico de prueba una chi-cuadrada. Se obtuvo un total de 2480 registros de las 20 especies de pinos listadas. En zonas de muy alta marginación se encuentra 4.48% de los registros, 26.21% en alta, el 18.47% en media y 50.85% en baja. Trece especies se encuentran en suelos degradados: 55.79% de los registros están en situación moderada, 37.76% ligera, 6.22% fuerte y el 0.21% extrema. En áreas de producción se encuentran 65.89% (del total de las especies), 30.81% en conservación y el 3.31% en restauración. Las estadísticas de prueba de chi-cuadrada manifestaron que las proporciones de las especies de pino en peligro de extinción —y en protección especial— no son iguales en los diferentes tipos de zonificación forestal, así como en los distintos grados de marginación y de degradación del suelo.

Palabras clave: bosques templados, chi-cuadrada, conservación, factores socio-ambientales.

SUMMARY

Studies on species natural distribution are necessary to determine the effect of social and environmental conditions on spatial distribution. The objectives of this research were to know the natural distribution of pine species considered at risk by Mexican laws and identify the possible association between these categories and socio-environmental factors (marginalization, soil degradation and forest productivity). For this purpose, a database was created on location and socioeconomic characteristics of the pines created from various sources. The independence between the risk categories of the pines and the socio-environmental factors was evaluated by means of a contingency analysis, which considers a chi-square statistics test. Of the 20 listed pine species, a total of 2480 records were obtained. Highly marginalized areas recorded 4.48%, high 26.21%, medium 18.47%, and low 50.85%. Thirteen species are found on degraded soils; 55.79% of the records are in a moderate situation, 37.76% light, 6.22% strong, and 0.21% extreme. Production, areas recorded 65.89% (of the total species), 30.81% in Conservation and 3.31% in restoration. The chi-square statistics test showed that the proportions of pine species in danger of extinction —and in special protection— are not the same in the different types of forest zoning, as well as in the different degrees of marginalization and soil degradation.

Cita recomendada:

Pérez-Miranda, R., Velasco Bautista, E., Romero-Sánchez, M. E. y Hernández-Ramos, J. (2022). Análisis de contingencia de la distribución natural de pinos mexicanos en categoría de riesgo. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-16. e1043. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1043>

Recibido: 07 de septiembre de 2021. Aceptado: 26 de enero de 2022.
Artículo. Volumen 40, enero de 2022.

Index words: *temperate forests, chi-square, conservation, socio-environmental factors.*

INTRODUCCIÓN

La biogeografía de México ha permitido generar diversos procesos evolutivos de taxones en el país con una diversificación importante de organismos vivos y un alto porcentaje de endemismo de plantas (Rzedowski, 2006; Sarukhán *et al.*, 2009; Villaseñor, 2016). Desde hace 30 años se calcula la existencia de 18 000 especies nativas conocidas (Rzedowski, 2006). Villaseñor (2016) estima un total de 23 314 especies de plantas vasculares. En el país, las coníferas representan 16% (94) del total de especies que existe en el mundo (Martínez-Meyer, Sosa y Álvarez, 2014). México es considerado un centro secundario de diversificación del género de *Pinus*, ya que existen alrededor de medio centenar de especies registradas, de las cuales 26 son endémicas (50%), sin considerar diferentes subespecies y variedades (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

Los bosques de pinos se encuentran preferentemente en las zonas montañosas, serranías y cordilleras aisladas en el Altiplano y entremezclados en las planicies tropicales (Challenger y Soberón, 2008; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). Se encuentran clasificados en dos tipos de comunidades vegetales: bosques primarios de pino y bosques mixtos (pino-encino y encino-pino); y crecen a diferentes elevaciones, cercanos a 0 hasta 4000 m, climas y exposiciones (Rzedowski, 2006). La superficie de bosques de pinos puros y mixtos, en México, es de 205 343.50 km², de los cuales el 64% son bosques primarios y el 36% son bosques secundarios arbustivos (INEGI, 2016).

La desaparición de especies es causada por la deforestación, fragmentación de la vegetación, recolección excesiva, agricultura, cambio de uso de suelo, ganadería, incendios forestales y sequías, entre otros factores. En los últimos años en México se han reportado 26 taxones de plantas extintas (Baena y Halffter, 2008), 987 especies se encuentran en las categorías de riesgo que a continuación se indican: probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas y sujetas a protección especial (NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010). Es importante hacer hincapié que, dentro de este universo, 10 especies de pinos pertenecen a la categoría “peligro

de extinción” y 10 a “sujetas a protección especial” (NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010).

En México, una parte importante de selvas y bosques conservadas se encuentra en tierras con población indígena. En la actualidad, las principales concentraciones de diversidad biológica están amenazadas o en peligro por diversos factores externos, principalmente de origen antrópico como la tala clandestina, las actividades extractivas y el cambio climático, entre otros (Toledo, Barrera y Boege, 2019). Por otra parte, los estudios sobre la ubicación precisa y actualizada de las especies de pinos consideradas en riesgo son incipientes; de tal manera que resulta interesante investigar a detalle su distribución espacial y conocer como pueden ser afectada por las condiciones sociales y ambientales. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) conocer la distribución natural de las especies de *Pinus* consideradas en las categorías riesgo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010 (2010 y 2019) y 2) identificar la posible asociación entre estas categorías de riesgo y los factores socio-ambientales predominantes en los lugares de ubicación de tales especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se dividió en dos etapas. Primero, se obtuvieron los datos de localización y características de las especies de interés por medio de consultas a herbarios, bases de datos científicas y búsquedas específicas en el proyecto del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (coordinado por la Comisión Nacional Forestal de México). Posteriormente se recuperó información espacial sobre marginación socioeconómica, degradación de suelos y zonificación forestal de las localidades donde, los pinos en alguna categoría de riesgo, se distribuyen de manera natural para realizar un análisis estadístico de la información denominado “análisis de contingencia”. Ambas etapas se describen a continuación.

Debido a la amplitud y alcance del trabajo, el área de estudio comprendió todo el territorio mexicano, los bosques de pino y sus diferentes asociaciones (incluyendo vegetación secundaria), áreas con diferentes tipos de matorrales y asociaciones de pastizal; y selva de la Península de Yucatán, región donde crece el *Pinus caribaea* (Figura 1).

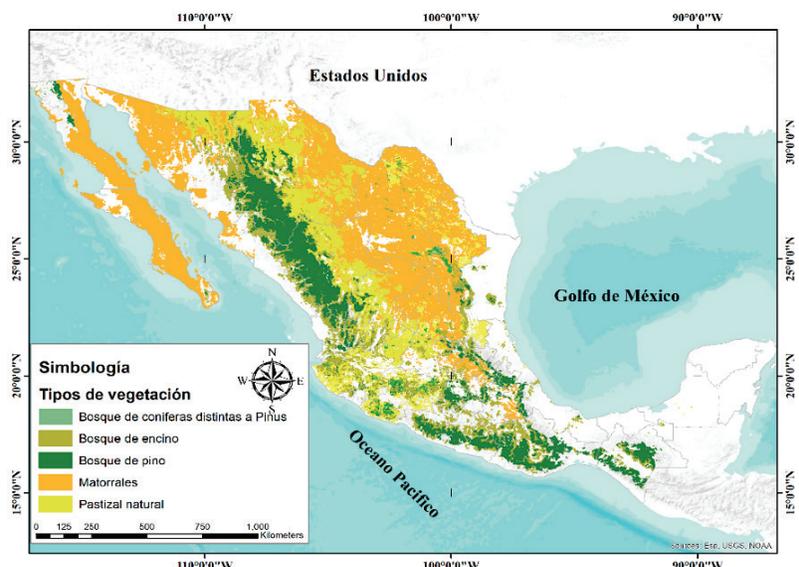


Figura 1. Localización de bosques templados de México. Fuente: INEGI (2016).
Figure 1. Location of temperate forests in Mexico. Source: INEGI (2016).

Registros de Presencia de los Pinos en Riesgo

Los pinos bajo estudio fueron 20 especies en riesgo consideradas en las Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010 (2010 y 2019), las cuales se enlistan a continuación: *Pinus attenuata* Lemmon, *P. caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Senecl.) W. H. Barrett et. Golfari, *P. contorta* Douglas ex Loudon var. *murrayana* (Balf.) Engelm, *P. coulteri* D. Don, *P. culminicola* Andresen et Beaman, *P. jaliscana* Pérez de la Rosa, *P. jeffreyi* Greville & Balf., *P. johannis* M. F. Rob. -Pass., *P. lagunae* (Rob.-Pass.) Passini., *P. martinezii* E. Larsen, *P. maximartinezii* Rzed., *P. monophylla* Torr. & Frém., *P. muricata* D. Don., *P. nelsonii* Shaw., *P. pinceana* Gordon, *P. quadrifolia* Parl. ex Sudw., *P. remota* (E. Little) D. K. Bailey et Hawksw., *P. rzedowskii* Madrigal et M. Caball., *P. strobiformis* Engelm. y *P. strobus* var. *chiapensis* Martínez.

Conforme a la metodología que usaron Ruiz-Jiménez, de los Santos, Parraguirre y Saavedra (2018) se obtuvieron registros botánico-geográficos de diferentes herbarios, tanto en físico como virtuales, nacionales e internacionales (Cuadro 1). Además, se consultaron las bases de datos del Inventario Nacional Forestal y Suelos (SNIGF, 2014), y se consultaron fuentes bibliográficas especializadas sobre fitogeografía de los pinos bajo estudio.

Geo-Procesamientos de los Datos Geográficos

Se integró una base de datos geográficos de los registros consultados en Excel™, se realizó un revisión y depuración preliminar para eliminar duplicidades y registros falso positivos localizados en pinetum, arboretum, jardines, ciudades. Se evaluó que las coordenadas de los sitios de colectas correspondieran con la información geográfica contenida en las etiquetas de cada colecta de los pinos consultados, después todas se homogenizaron utilizando el sistema de coordenadas geográficas en grados decimales. Para su manejo espacial se importó al sistema de información geográfica ArcMap™ 10.2.1 con el módulo “Add XY data”, y obtener una capa (archivo *Shapefile*). Posteriormente, la validación se realizó con el apoyo de coberturas cartográficas como fueron de estados y municipios del país, de las series de uso de suelo y vegetación de INEGI y del inventario nacional forestal y suelos de la CONAFOR. Se efectuaron geo-procesamientos, en el módulo “Intersect” con las coberturas: grado de marginación (bajo, medio, alto y muy alto; CONAPO, 2016), tipos de degradación de suelos (ligero, moderado, fuerte y extremo) –en términos de la reducción de la productividad biológica de los terrenos– (SEMARNAT, 2004) y zonas de conservación, producción y restauración (SNIGF, 2012); escalas 1:250.000.

Cuadro 1. Herbarios consultados.**Table 1: Herbariums consulted.**

No.	Institución (nombre del herbario)	Dirección de consulta
1	Universidad Autónoma Chapingo (CHAP)	Texcoco, México, México
2	Colegio de Postgraduados (CHAPA)	Montecillo, México, México
3	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN (ENCB)	Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México
4	Universidad Autónoma Metropolitana (UAMIZ)	Iztapalapa, Ciudad de México, México
5	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIF)	Coyoacán, Ciudad de México, México
6	Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (EBUM)	Morelia, Michoacán, México
7	Instituto Nacional de Ecología A.C. (XAL)	Xalapa, Veracruz, México
8	Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU)	http://www.ib.unam.mx/botanica/herbario/
9	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (HVC)	http://www.conabio.gob.mx/otros/cgi-bin/herbario.cgi
10	Universidad Autónoma de San Luis Potosí (SLPM)	http://slpm.uaslp.mx/
11	Red Mundial de Información sobre la Biodiversidad (REMIB)	http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html
12	Red de Herbarios del Noreste de México (Herbanwmex)	https://herbanwmex.net/portal/
13	The Global Biodiversity Information Facility (GBIF)	https://www.gbif.org/
14	The Consortium of Midwest Herbaria	https://www.midwestherbaria.org/
15	The Gymnosperm Database	https://www.conifers.org/
16	The Flora of Baja California	http://bajaflora.org/
17	The SouthEast Regional Network of Expertise and Collections (SERNEC)	https://sernecportal.org/portal/
18	Ciencias Forestales de Nuevo León	Linares, Nuevo León, México
19	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango del IPN (CIIDIR)	Durango, Durango, México
20	Red de Herbarios del Noroeste de México (RHNM)	https://herbanwmex.net/portal/
21	Herbario del Rancho Santa Ana Botanic Garden (RSA)	https://tools.bgci.org/garden.php?id=221?id=221
22	Herbario de la Universidad de Sonora (UNISON-USON)	https://herbanwmex.net/portal/collections/misc/collprofiles.php?collid=7
23	Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR)	https://snigf.cnf.gob.mx/inventario-nacional-forestal/

Análisis de Contingencia

A partir de la base de datos geográficos de los registros de los pinos en riesgo, que incluyeron coberturas temáticas, la información de marginación socioeconómica, degradación de suelos y zonificación forestal de las especies bajo estudio se integró en tres matrices: las filas fueron las dos grandes categorías de riesgo: protección especial y peligro de extinción, y las columnas los factores sociales y ambientales: grados de marginación, grados de degradación de suelos y zonificación forestal. Dada la naturaleza categórica de los datos, el análisis de la información

se realizó mediante el método estadístico denominado “análisis de contingencia” (Agresti, 2007), que se basa en la comparación entre las frecuencias observadas y esperadas mediante la estadística de prueba indicada en la Ecuación (1), la cual se distribuye como una chi-cuadrada, cuyos grados de libertad corresponden al producto $(r-1)(c-1)$, donde r es el número de filas y c el número de columnas de la tabla de contingencia (Wackerly, Mendenhall y Scheaffer, 2008).

$$X^2 = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^r \frac{[n_{ij} - E(n_{ij})]^2}{E(n_{ij})} \quad (1)$$

donde:

n_{ij} es la frecuencia observada en la fila i y columna j

$E(n_{ij}) = \frac{n_i \cdot n_j}{n}$ es la frecuencia esperada en la fila i y columna j

$n_i = \sum_{j=1}^c n_{ij}$ es el número de observaciones en la fila i

$n_j = \sum_{i=1}^r n_{ij}$ es el número de observaciones en la columna j

$n = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c n_{ij}$ es el número total de observaciones

Los residuales de celdas, también llamadas desviaciones-chi o desviaciones escaladas, fueron expresadas mediante la siguiente Ecuación (2):

$$X_{ij} = \frac{n_{ij} - E(n_{ij})}{\sqrt{E(n_{ij})}} \quad (2)$$

Los valores de chi-cuadrada por celda, fueron obtenidos de la siguiente manera:

$$X_{ij}^2 = \frac{[n_{ij} - E(n_{ij})]^2}{E(n_{ij})} \quad (3)$$

En todos los casos, las hipótesis nulas evaluadas consideraron la independencia entre factores ambientales y sociales y las categorías de riesgo de las veinte especies forestales estudiadas. De esta manera, tales conjeturas quedaron de la siguiente manera:

Grado de marginación:

Ha: El grado de marginación y las categorías de riesgo son independientes.

Ho: El grado de marginación y las categorías de riesgo no son independientes.

Grado de degradación del suelo:

Ha: El grado de degradación del suelo y las categorías de riesgo son independientes.

Ho: El grado de degradación del suelo y las categorías de riesgo no son independientes.

Tipo de zonificación forestal:

Ha: El tipo de zonificación forestal y las categorías de riesgo son independientes.

Ho: El tipo de zonificación forestal y las categorías de riesgo no son independientes.

Estas hipótesis se rechazaron cuando el p -value correspondiente a la estadística de prueba (Ecuación 1) fue menor a un $\alpha = 0.05$ (Wackerly *et al.*, 2008).

Los análisis estadísticos y las gráficas de mosaico se llevaron a cabo usando la función “chisq.test” y el paquete “vcd”, respectivamente, del programa estadístico R, conforme a lo establecido en Heiberger y Holland (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de Ejemplares de *Pinus* en Riesgo Consultados en Colecciones

La base de datos final quedó integrada para todo el país con un total de 2480 registros de las 20 especies de pinos bajo estudio. *P. strobiformis* fue la especie que presentó el mayor número de registros con una frecuencia relativa cercana al 30%; mientras que *P. martinezii*, *P. culminicola*, *P. quadrifolia*, *P. nelsonii* y *P. pinceana* oscilaron entre el 5 y 10%; para el resto de las especies, los porcentajes resultaron menores al 5% (Cuadro 2).

A continuación, se enuncian los resultados por zonas, la distribución de los registros quedó de la siguiente manera: Península de Baja California (25.24%), Norte (61.37%), Centro (9.60%) y Sureste (3.83%).

Los registros más representativos, de acuerdo a su mayor porcentaje, que se encontraron para la Península de Baja California fueron *P. quadrifolia* (7.91%), *P. Jeffreyi* (4.23%), *P. coulteri* (4.07%), *P. monophylla* (3.51%) y *P. contorta* (2.30%) (Cuadro 3).

Los pinos ubicados en los estados norte de México, en orden de importancia por su distribución, fueron los siguientes: *P. strobiformis* (29.77%), *P. nelsonii* (8.24%), *P. pinceana* (4.45%), *P. culminicola* (5.77%), *P. martinezii* (4.31%), *P. maximartinezii* (2.82%), *P. johannis* (2.64%) y *P. remota* (1.37%) (Cuadro 4).

Los pinos registrados en los estados Centro del país fueron *P. pinceana* (2.82%), *P. rzedowski* (2.36%), *P. strobus* (1.72%), *P. martinezii* (1.09%) y *P. strobiformis* (0.40%) (Cuadro 5).

Los pinos de los estados Sureste de México únicamente fueron *P. strobus* y *P. caribaea* con porcentajes respectivos de 2.94% y 0.89% (Cuadro 6).

Cuadro 2. Porcentaje de registros de ejemplares de pinos consultados en colecciones botánicas.
Table 2. Percentage of records of pine specimens consulted in botanical collections.

No.	Especie	%	No.	Especie	%
1	<i>P. attenuata</i> [8, 11, 13, 14, 16]	0.4	11	<i>P. maximartinezii</i> [4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 19]	2.82
2	<i>P. caribaea</i> [1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 17]	0.89	12	<i>P. monophylla</i> [4, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15]	3.51
3	<i>P. contorta</i> [3, 5, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 19]	2.3	13	<i>P. muricata</i> [1, 3, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 19]	1.37
4	<i>P. coulteri</i> [3, 5, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19]	4.07	14	<i>P. nelsonii</i> [2, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 19]	8.22
5	<i>P. culminicola</i> [1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19]	5.76	15	<i>P. pinceana</i> [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 19, 23]	9.27
6	<i>P. jaliscana</i> [2, 3, 7, 11, 13]	1.21	16	<i>P. quadrifolia</i> [1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 19]	7.82
7	<i>P. jeffreyi</i> [5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 19]	4.23	17	<i>P. remota</i> [2, 4, 8, 10, 11, 14, 18, 19]	1.37
8	<i>P. johannis</i> [1, 2, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 19]	2.62	18	<i>P. rzedowskii</i> [1, 2, 5, 7, 8, 12, 13]	2.38
9	<i>P. lagunae</i> [1, 9, 11, 13, 15, 16, 17]	1.45	19	<i>P. strobiformis</i> [1, 2, 3, 5, 7, 9, 12, 13, 19, 22, 23]	30.19
10	<i>P. martinezii</i> [2, 3, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 20]	5.44	20	<i>P. strobus</i> [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 19, 21, 23]	4.68

[] Números de superíndices hacen referencia a los herbarios consultados del Cuadro 1.

[] Superscript numbers refer to the herbaria consulted in Table 1.

Situación Socioambiental

Respecto a la categorización de los pinos en riesgo de acuerdo con los grados de marginación destacan el *P. strobiformis* y *P. nelsonii* en el grado de marginación alto con porcentajes que superan el 12 y 6%, respectivamente. Asimismo, *P. strobiformis* (10.1%) y *P. quadrifolia* (7.8%) sobresalen en la categoría de grado de marginación bajo (Figura 2).

Del total de ejemplares de pinos consultados, la distribución fue de la siguiente manera: 4.48% se encuentra en zonas de muy alta marginación, el 26.21% en alta, 18.47% en media y 50.85% en baja. Los pinos más amenazados, por ser localizados en lugares de muy alta y alta marginación, fueron *P. strobiformis*,

P. strobus, *P. martinezii*, *P. maximartinezii*, *P. pinceana*, *P. nelsonii*, *P. martinezii*, *P. johannis* y *P. culminicola*. Por otra parte, *P. strobiformis*, *P. strobus* y *P. martinezii* se encontraron en las cuatro categorías de grados de marginación en diferentes tipos de vegetación de la república mexicana.

Las entidades federativas donde los pinos en riesgo estuvieron distribuidos en los cuatro grados de marginación fueron Durango (en forma global representan 23.07%), Nuevo León (7.54%), Chihuahua (5.24%), Michoacán (3.15%) y Jalisco (1.81%); mientras que aquellas en tres categorías (bajo, medio, alto o muy alto) fueron Coahuila (10.52%), Zacatecas (4.15%), San Luis Potosí (2.42%), Chiapas (1.77%), Oaxaca (1.13%), Sonora (1.09%), Sinaloa (0.28%) y Guanajuato (0.16%).

Cuadro 3. Porcentaje de distribución de pinos en riesgo en la Península de Baja California de registros consultados en las colecciones botánicas.

Table 3. Percentage of distribution of pines at risk in the Baja California Peninsula of records consulted in botanical collections.

Estados	Patt	Pcon	Pcoul	Pjef	Plag	Pmon	Pqua	Pmur
Baja California	0.4	2.3	4.07	4.23	0.04	3.51	7.83	1.37
Baja California Sur	0	0	0	0	1.41	0	0.08	0

Patt = *P. attenuata*; Pcon = *P. contorta*; Pcoul = *P. coulteri*; Pjef = *P. jeffreyi*; Plag = *P. lagunae*; Pmon = *P. monophylla*; Pqua = *P. quadrifolia*; Pmur = *P. muricata*.

Cuadro 4. Distribución de los pinos en la zona Norte de México y porcentaje con respecto al total consultados en las colecciones.
Table 4. Distribution of pines in the North of Mexico and percentage with respect to the total consulted in the collections.

Estados	Pcul	Pjoh	Pmar	Ppin	Pstf	Prem	Pmax	Pnel
Sonora	0.00	0.00	0.36	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00
Chihuahua	0.04	0.00	1.53	0.00	3.67	0.00	0.00	0.00
Coahuila	2.50	0.85	0.04	3.71	2.30	1.13	0.00	0.00
Tamaulipas	0.00	0.00	0.00	0.12	0.04	0.00	0.00	5.85
Nuevo León	3.15	0.81	0.00	0.32	1.57	0.20	0.00	1.50
Durango	0.00	0.00	2.22	0.60	21.06	0.00	0.16	0.00
Sinaloa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00
San Luis Potosí	0.08	0.28	0.00	1.10	0.04	0.04	0.00	0.89
Zacatecas	0.00	0.70	0.12	0.60	0.08	0.00	2.66	0.00
Aguascalientes	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Pcul = *P. culminicola*; Pjoh = *P. johannis*; Pmar = *P. martinezii*; Ppin = *P. pincena*; Pstf = *P. strobiformis*; Prem = *P. remota*; Pmax = *P. maximartinezii*; Pnel = *P. nelsonii*.

Situación de Suelos Degradados de Pinos en Riesgo

Solo 18.79% del total de la base de datos, se ubicaron en suelos degradados, esto quiere decir que los sitios de colecta de las especies de pino en riesgo, se le suma problemas por degradación edafológica, lo que ocasiona mayor amenaza. Los resultados en porcentaje se distribuyen de la siguiente manera: 55.79% en suelos

con degradación moderada, 37.76% en ligera, 6.24% en fuerte y 0.21% en extremo (Cuadro 7).

Las entidades federativas con algún grado de degradación de suelo, por orden de importancia, resultaron ser las siguientes: Durango 235 (50.42%); Chihuahua 47 (10.08%); Zacatecas 45 (9.59%); Coahuila 39 (8.36%); Nuevo León 19 (4.07%); Chiapas 11 (2.36%); San Luis Potosí 9 (1.93%); Michoacán, Oaxaca y Tamaulipas 8 (1.71%); y Sinaloa, Querétaro, Guerrero, Hidalgo, Veracruz, Baja California, Jalisco, Quintana Roo, Puebla, Guanajuato y Aguascalientes, en conjunto, 37 (7.94%).

Cuadro 5. Distribución de los pinos en la zona Centro de México y porcentajes de los registros consultados en las colecciones.
Table 5. Distribution of pines in Central Mexico and percentages of the records consulted in the collections.

Estado	Pjal	Pmar	Ppin	Prze	Pstf	Pstb
Jalisco	1.21	0.24	0.00	0.00	0.36	0.00
Guanajuato	0.00	0.08	0.04	0.00	0.04	0.00
Querétaro	0.00	0.04	1.57	0.00	0.00	0.00
Hidalgo	0.00	0.00	1.13	0.00	0.00	0.00
Estado de México	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Michoacán	0.00	0.73	0.04	2.36	0.00	0.00
Puebla	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
Guerrero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
Veracruz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60

Pjal = *P. jaliscana*; Pmar = *P. martinezii*; Ppin = *P. pincena*; Prze = *P. rzedowski*; Pstf = *P. strobiformis*; Pstb = *P. strobus*.

Cuadro 6. Porcentaje de distribución de los pinos en la zona sureste en México con respecto al total consultados en las colecciones.

Table 6. Percentage of distribution of pines in the Southeast area in Mexico with respect to the total consulted in the collections.

Estados	Pstb	Pcar
Oaxaca	1.13	0.00
Tabasco	0.04	0.00
Chiapas	1.77	0.00
Campeche	0.00	0.20
Quintana Roo	0.00	0.69

Pstb = *P. strobus*; Pcar = *P. caribaea*.

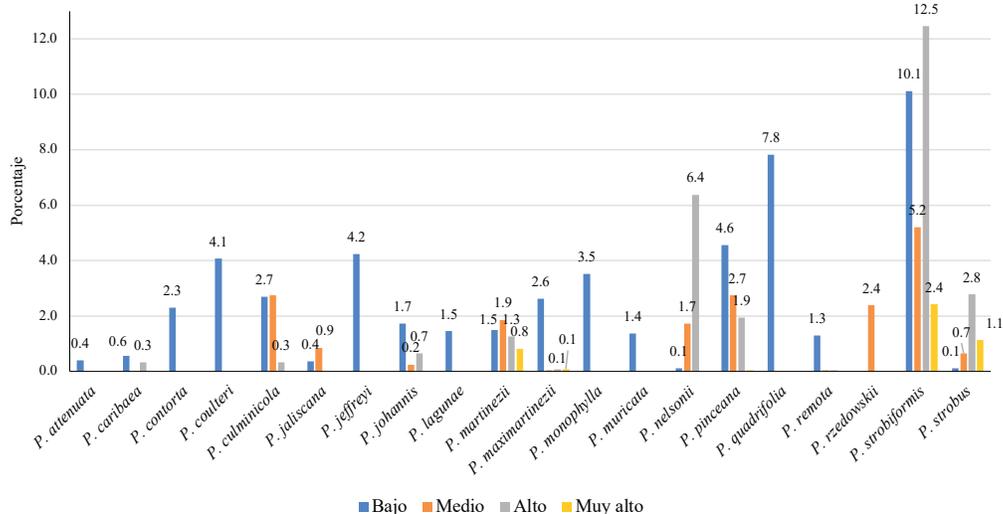


Figura 2. Pinos en riesgo con su porcentaje de los diferentes grados de marginación.
Figure 2. Pines at risk with their percentage of different degrees of marginalization.

Análisis de Zonificación Forestal

De acuerdo a la zonificación forestal, los sitios de los registros de pinos en riesgo se ubican de la siguiente manera: 65.89% (2480 registros) se encontraron en áreas de Producción, 30.81% en Conservación y 3.31% en Restauración. Esto significa que un poco más de dos terceras partes se localizan bajo manejo forestal con incrementando su nivel de riesgo.

Los pinos localizados en zonas de producción fueron los siguientes: *P. strobiformis* (se distribuyeron principalmente en Durango, Chihuahua, Sonora, Coahuila) con casi 35%; *P. quadrifolia* (en Baja California), *P. nelsonii* (Tamaulipas, Nuevo León), *P. pinceana* (Coahuila, Hidalgo, Querétaro), *P. martinzii* (Durango, Chihuahua, Michoacán) y *P. jeffreyi* (Baja California) entre 5 y 10%; otras especies como *P. strobus* (Chiapas, Oaxaca, Puebla, Veracruz), *P. monophylla* (Baja California), *P. coulteri* (Baja California) y *P. rzedowski* (Michoacán) no superaron 5% (Figura 3).

Respecto a la distribución de los pinos en áreas de conservación, por orden de importancia, resultaron los siguientes: *P. strobiformis* (Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León) con más de 20%; *P. culminicola* (Nuevo León, Coahuila) con casi 15%; *P. pinceana* (San Luis Potosí, Querétaro, Coahuila), *P. maximartinezii* (Zacatecas), *P. coulteri* (Baja California), *P. strobus* (Chiapas, Oaxaca, Veracruz), *P. contorta* (Baja California) y *P. quadrifolia* (Baja California) entre

5 y 10%; otras especies, tales como *P. nelsonii* (San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León) y *P. martinzii* (Durango, Chihuahua, Jalisco) fueron menores al 5% (Figura 3)

Los pinos más importantes desde el punto de vista de áreas de restauración fueron los siguientes: *P. nelsonii* (Tamaulipas) con cerca del 30%; *P. strobiformis* (Durango) y *P. pinceana* (Hidalgo, Durango) con casi el 16%; *P. martinzii* (Durango) y *P. strobus* (Guerrero y Chiapas) entre 5 y 10%; el resto de las especies, incluyendo a *P. jaliscana* (Jalisco) y *P. rzedowski* (Michoacán), no superaron 5% (Figura 3).

Análisis de Contingencia de Especies de Pino en Riesgo

Las frecuencias observadas y esperadas (en paréntesis) correspondientes a las variables grado de marginación, grado de degradación del suelo y tipo de zonificación forestal cruzadas con las categorías de riesgo constituyeron la base para el análisis de contingencia (Cuadros 8, 9 y 10).

El análisis de contingencia para evaluar la asociación entre el grado de marginación y categorías de riesgo de las especies forestales estudiadas proporcionó un valor de $P < 0.05$ —correspondiente a una estadística de prueba de 80.17— (Cuadro 11), por lo tanto, existen evidencias suficientes para sugerir una asociación contundente entre ambas variables categóricas. Esto es,

Cuadro 7. Nivel de degradación de suelo de los sitios de los pinos en riesgo por estado.
Table 7. Level of soil degradation of the sites of the pines at risk by state.

Grado de degradación (%) Estados (% de contribución)	Pcar	Pcul	Pjal	Pjoh	Pmax	Pmar	Pnel	Ppin	Pqua	Prem	Prze	Pstf	Pstb	
	Extremo (total 0.21)													
	-	-	-	SLP (0.21)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fuerte (total 6.24)													
	-	-	-	NL, SLP, Zac (3.43)	-	-	Tam (0.43)	Qro, SLP, Zac (1.07)	-	-	-	-	Chih, Dgo, NL (1.30)	-
Moderado (total 55.79)														
-	Chih, Coah, NL, SLP (1.50)	-	Coah, Zac (1.07)	Zac (0.21)	Ags, Chih, Dgo, Gto (5.58)	NL, Tam (1.93)	Coah, Dgo, Hgo, NL, Qro, SLP, Zac (9.66)	BC (0.64)	Coah (0.43)	Mich (0.64)	Chih, Dgo, Jal, NL, Sin (32.62)	Chis, Oax, Pue, Ver (1.50)		
Ligero (total 37.76)														
Qroo (0.64)	-	Jal (0.21)	-	Dgo, Zac (4.72)	Chih, Coa, Dgo, Jal, Mich. (2.79)	NL, SLP, Tam (1.50)	Coah, Hgo, NL (3.43)	-	Coah (0.21)	Mich (0.21)	Coah, Dgo, NL, Zac (19.10)	Chis, Gro, Oax, Pue, Ver (4.94)		

Especies: Pcar = *P. caribaea*; Pcul = *P. culminicola*; Pjal = *P. jaliscana*; Pjoh = *P. johannis*; Pmax = *P. maximartinezii*; Pmar = *P. martinezii*; Pnel = *P. nelsonii*; Ppin = *P. pinceana*; Pqua = *P. quadrifolia*; Prem = *P. remota*; Prze = *P. rzedowskii*; Pstf = *P. strobiformis*; Pstb = *P. strobus*. Estados: Ags = Aguascaliente; BC = Baja California; Coa = Coahuila; Chis = Chiapas; Chih = Chihuahua; Dgo = Durango; Gto = Guanajuato; Gro = Guerrero; Hgo = Hidalgo; Jal = Jalisco; Mich = Michoacán; NL = Nuevo León; Oax = Oaxaca; Pue = Puebla; Qro = Querétaro; Qroo = Quintana Roo; Sin = Sinaloa; Tam = Tamaulipas; Ver = Veracruz; Zac = Zacatecas.

la proporción de especies en peligro de extinción —y en protección especial— no es la misma en los distintos grados de marginación, lo cual fue congruente con el área de los rectángulos mostrados en la Figura 4, que como puede apreciarse es proporcional a la frecuencia observada de cada clasificación cruzada. De hecho, la frecuencia observada para la celda “peligro de extinción y grado de marginación muy alto” fue significativamente menor que la celda “peligro de extinción y grado de marginación bajo”.

A partir de los residuales de Pearson se identificó que las celdas con mayor contribución a la estadística de prueba fueron “protección especial y grado de marginación alto” y “protección especial y grado de marginación bajo”, con porcentajes que ascendieron respectivamente a 39.59 y 36.50%. En la Figura 4,

estas celdas se representan por los colores extremos de la barra vertical derecha.

La asociación entre el grado de degradación del suelo y las categorías de riesgo de las especies de pino evaluadas en la investigación condujo a una estadística de prueba de 53.33 con un valor de $P < 0.05$ (Cuadro 11), luego entonces, la hipótesis de independencia se rechaza con un alfa de 0.05 y se concluye que la proporción de especies en peligro de extinción —y en protección especial— no es idéntica en los distintos grados de degradación del suelo. La Figura 5 refleja este hecho al mostrar rectángulos de diferentes áreas, particularmente la celda “peligro de extinción y degradación fuerte” presenta una frecuencia observada notablemente menor que la celda “peligro de extinción y degradación moderado”.

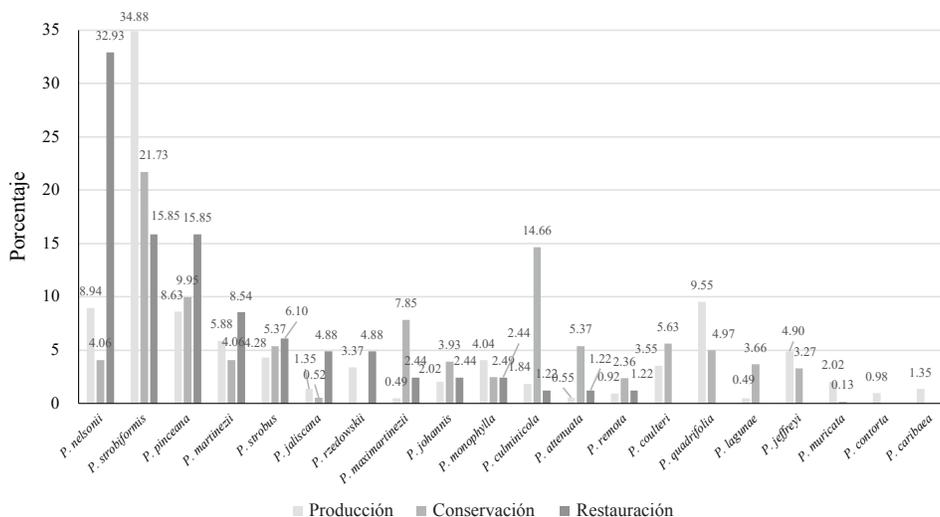


Figura 3. Porcentaje de registros de pinos en riesgo por zonificación forestal.
 Figure 3. Percentage of pine records at risk by forest zoning.

Cuadro 8. Frecuencias observadas y esperadas del grado de marginación y categorías de riesgo de las especies forestales estudiadas.
 Table 8. Observed and expected frequencies of the degree of marginalization and risk categories of the forest species studied.

Categoría de riesgo	Grado de marginación			
	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
En peligro de extinción	992 (1068.90)	409 (387.70)	611 (553.37)	93 (95.03)
Sujetas a protección especial	279 (202.11)	52 (73.30)	47 (104.63)	20 (17.97)

Cuadro 9. Frecuencias observadas del grado de degradación del suelo y categorías de riesgo de las especies forestales estudiadas.
 Table 9. Observed frequencies of the degree of soil degradation and risk categories of the forest species studied.

Categoría de riesgo	Grado de degradación del suelo		
	Ligero	Moderado	Fuerte
En peligro de extinción	165 (154.85)	229 (226.18)	14 (26.97)
Sujetas a protección especial	13 (23.15)	31 (33.82)	17 (4.03)

Cuadro 10. Frecuencias observadas del tipo de zonificación forestal y categorías de riesgo de las especies forestales estudiadas.
 Table 10. Observed frequencies of the type of forest zoning and risk categories of the forest species studied.

Categoría de riesgo	Tipo de zonificación forestal		
	Producción	Conservación	Restauración
En peligro de extinción	1.413 (1384.27)	619 (651.77)	73 (68.96)
Sujetas a protección especial	233 (261.73)	156 (123.23)	9 (13.04)

Cuadro 11. Estadísticos de las variables analizadas.**Table 11. Statistics of the variables analyzed.**

Variable	Estadístico de prueba (Chi-cuadrado)	Grados de libertad	P value
Grado de marginación	80.17	3	2.20e-16
Degradación de suelo	53.33	2	2.63e-12
Zonificación forestal	15.60	2	0.0004102

El análisis de los residuales de Pearson indicó que la celda “protección especial y degradación fuerte” contribuyó con un 78% a la estadística de prueba. La Figura 5 pone de manifiesto este hecho con un residual alrededor del 6.5 (color azul intenso).

La relación entre la zonificación forestal y las categorías de riesgo de las especies de pino fue de 15.60 con un valor de $P < 0.05$ (Cuadro 11), lo cual revela que la hipótesis de independencia entre ambos factores se rechaza con un alfa de 0.05; de esta manera, se infiere que la proporción de especies en peligro de extinción —y en protección especial— no es igual en

los diferentes tipos de zonificación forestal. En este sentido, la frecuencia observada correspondiente a la celda “peligro de extinción y producción” supera por mucho a las celdas restantes definidas por la misma categoría de riesgo (Figura 6).

La celda que aportó con más del 55% a la estadística de prueba corresponde a la clasificación cruzada “protección especial y conservación”, representada por color azul tenue en la Figura 6.

Las proporciones de las especies de pino en peligro de extinción —y en protección especial— no son iguales en los diferentes tipos de zonificación forestal,

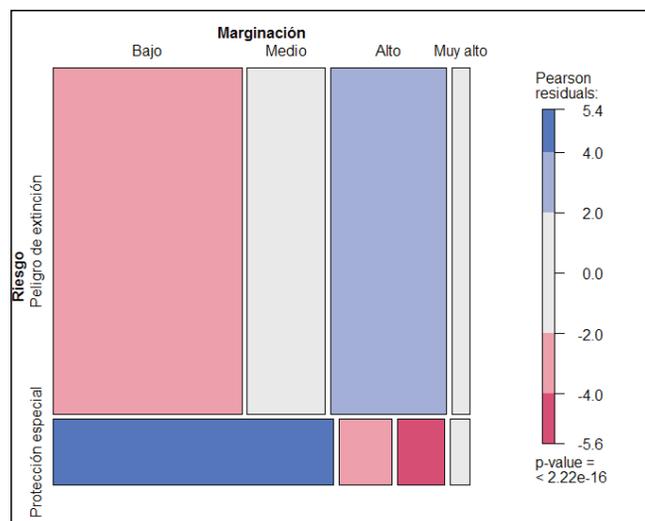


Figura 4. Asociación del grado de marginación y categorías de riesgo de las veinte especies estudiadas. El área de los rectángulos es proporcional a la frecuencia observada en la clasificación cruzada. El color de los rectángulos indica la magnitud de los residuales de Pearson.

Figure 4. Association of the degree of marginalization and risk categories of the twenty species studied. The area of the rectangles is proportional to the frequency observed in the cross classification. The color of the rectangles indicates the magnitude of the Pearson residuals.

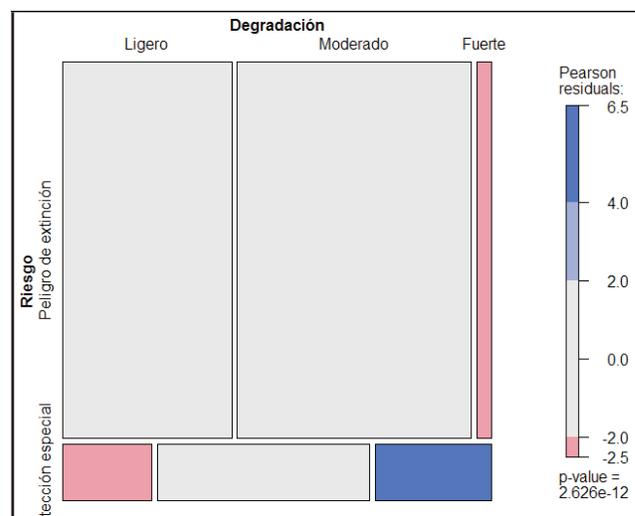


Figura 5. Asociación del grado de degradación del suelo y categorías de riesgo de las veinte especies estudiadas. El área de los rectángulos es proporcional a la frecuencia observada en la clasificación cruzada. El color de los rectángulos indica la magnitud de los residuales de Pearson.

Figure 5. Association of the degree of soil degradation and risk categories of the twenty species studied. The area of the rectangles is proportional to the frequency observed in the cross classification. The color of the rectangles indicates the magnitude of the Pearson residuals.

así como en los distintos grados de marginación y de degradación del suelo. Esta declaración se puede confirmar mediante la magnitud de las áreas de los rectángulos de las gráficas de mosaico que representan las frecuencias esperadas correspondientes a las clasificaciones cruzadas resultantes de los diversos factores estudiados. En los tres casos se observó que pocas celdas contribuyen de manera notable a la estadística de prueba, incluso en la degradación del suelo tan solo una celda aportó cerca del 80%.

De acuerdo a los resultados, las distribuciones de los pinos bajo estudio concuerdan con lo indicado por Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2013) todas las especies son nativas de Norteamérica, excepto *P. caribaea*, la cual se encuentra en el sureste de México y Centroamérica. De manera particular, los taxa *P. attenuata*, *P. contorta*, *P. coulteri*, *P. jeffreyi*, *P. lagunae*, *P. monophylla*, *P. quadrifolia* y *P. muricata* tienen dispersión natural en el norte de México, localizadas particularmente en la Península de Baja California, y se extienden hasta los Estados Unidos de América (Farjon, 2013 a,c,d,e,f,g,h). Inclusive *P. contorta* se extiende hasta Canadá (Farjon, 2013b).

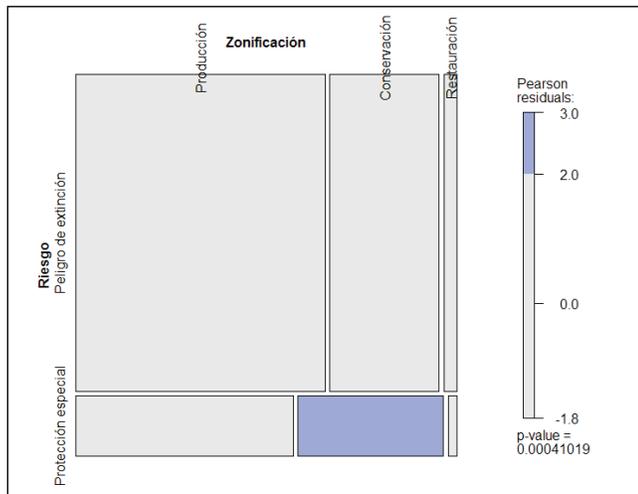


Figura 6. Asociación del tipo de zonificación y categorías de riesgo de las veinte especies forestales estudiadas. El área de los rectángulos es proporcional a la frecuencia observada en la clasificación cruzada. El color de los rectángulos indica la magnitud de los residuales de Pearson.

Figure 6. Association of the type of zoning and risk categories of the twenty forest species studied. The area of the rectangles is proportional to the frequency observed in the cross classification. The color of the rectangles indicates the magnitude of the Pearson residuals.

Las especies de *Pinus* en riesgo, declaradas por la norma NOM-059-SEMARNAT-2010 (2010, 2019), representan 21.27% con respecto a los 94 taxa de coníferas existentes en México (Martínez-Meyer *et al.*, 2014). Al considerar que México es un centro secundario de diversificación de pinos, puesto que posee alrededor de 50 especies registradas, de las cuales 26 son endémicas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014, Martínez-Meyer *et al.*, 2014), se estima con base a la norma NOM-059-SEMARNAT-2010 (2010) que 38.5% de los taxa endémicas de México están en riesgo, en contraste, de acuerdo con reportes de la IUCN (2013) únicamente son 11.53%.

La región Norte destaca por las proporciones de los registros entre las cuatro zonas definidas en este estudio, donde según Challenger y Soberón (2008) y González-Elizondo, González, Tena, Ruacho y López (2012) se encuentra la mayor superficie forestal en México, particularmente en las Sierras Madres Occidental y Oriental y otras sierras y montañas de menor magnitud. El estado con mayor número de registros de especies en riesgo de la zona, es Durango en ella se encuentran *P. martinezii*, *P. pinceana*, *P. strobiformis* y *P. maximartinezii*, los cuales coinciden con lo reportado para este estado por Farjon (2013 j,k,l) y Favela y Thomas (2013); no obstante, Farjon (2013i) indican que también *P. johannis* se distribuye dentro de este límite estatal. Cabe destacar que, aunque *P. strobiformis* su distribución en el extremo sur en el país se encuentra en Jalisco y San Luis Potosí, a principios de la década de 2010, se reportó una pequeña población al este de Guanajuato (Villagómez, Bello y Isarain, 2014).

Aparte de la región Norte que tiene ocho especies de pino en riesgo, la Península de Baja California es otra con el mismo número, está última se concentran un mayor número de registros y de especies de pinos en riesgo con respecto a su superficie total. Sánchez (2008) señala que para la Península existen 19 taxa y tres variedades, de los cuales un poco más del 40% de especies de la zona que se encuentran en un estado de riesgo. Por otra parte, en la zona Centro, las especies dominantes por el número de registros son únicamente *P. pinceana* y *P. rzedowski*, el primero se encontró en los estados del límite extremo sur de su distribución natural: Hidalgo y Querétaro (Favela y Thomas, 2013), no obstante, también se tuvo registros en Guanajuato y Michoacán. Por otra parte, Michoacán es el estado que tiene más especies con registros, además de

las mencionadas también está *P. martinezii*. Esta entidad estatal posee áreas localizadas de esta especie, ubicadas en el extremo sur de la distribución natural a nivel nacional (Leal-Nares *et al.*, 2012; Farjon, 2013j). Así también, el sureste es la zona menos diversa en cuanto al género *Pinus*, pues solo se encontraron dos especies: *P. strobus* y *P. caribaea*, Oaxaca destaca por su alta frecuencia de la primera especie. La distribución del *P. strobus* coincide con la mencionada por Thomas y Farjón (2013), que se localizan en Chiapas, Guerrero, Puebla, Veracruz, Oaxaca; excepto Tabasco, que es el reportado en los resultados en este trabajo. *P. caribaea* también lo reporta Farjon (2013m) en el estado de Quintana Roo; no obstante, también existe en Campeche muy próximo a la frontera con Quintana Roo.

En relación con las colectas consultadas y el grado de marginación, todo indica que 30.68% de los registros de pinos se encuentran en municipios de marginación alta y muy alta, presentes en los siguientes 19 estados de la república mexicana: Campeche, Chihuahua, Chiapas, Durango, Guanajuato, Jalisco, Hidalgo, Guerrero, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas. Los taxa *P. strobiformis*, *P. nelsonii*, *P. strobus*, *P. pinceana*, *P. martinezii*, *P. johannis*, *P. culminicola*, *P. caribaea* y *P. maximartinezii* son los que se encuentran en las dos categorías antes mencionadas. Cabe mencionar que, de acuerdo a la CONAPO (2016) Durango, Tamaulipas, Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Chiapas son las entidades que tienen más municipios con alta y muy alta marginación. El conocimiento de la situación socioeconómica de las localidades es primordial en los programas de conservación de los pinos en riesgo; la marginación social es una amenaza para los recursos forestales, por ello es relevante considerar el bienestar de las poblaciones humanas que viven de los bosques y selvas, a fin de llevar a cabo un manejo forestal sustentable a largo plazo (SEMARNAT, 2013a).

Con respecto a la degradación de suelos, el territorio nacional presenta 42% con erosión hídrica y 89% con erosión eólica (SEMARNAT, 2013b). En este sentido, las localidades de las colectas de los pinos en riesgo se ubican en 21 estados de la república mexicana, de las que se incluyen por su número a Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Zacatecas, mismos que SEMARNAT (2013b) señala como las entidades más afectadas por la pérdida del suelo a causa del aire y agua. Los taxa más numerosas, que se encuentran

en lugares en suelos degradados, son *P. strobiformis*, *P. pincenan*, *P. martinezii*, *P. maximartinezii* y *P. johannis*.

En relación con la zonificación forestal, los resultados indican que 100% de las especies bajo estudio se encuentra en menor o mayor porcentaje en áreas de producción, 85% se ubican en espacios de conservación y 65% zonas asignadas a la restauración. Las especies ubicadas en las áreas de producción, por mencionar algunas por su importancia porcentual, se encuentran *P. strobiformis*, *P. quadrifolia*, *P. nelsonii*, *P. pinceana* y *P. martinezii*; en áreas de conservación están *P. strobiformis*, *P. culminicola*, *P. pinceana*, *P. maximartinezii*, *P. coulteri* y *P. attenuata* y en zonas de restauración son *P. nelsonii*, *P. strobiformis*, *P. pinceana*, *P. martinezii*, *P. strobus* y *P. jaliscana*. Los taxa que se ubican en las tres zonas y por importancia proporcional son *P. nelsonii*, *P. strobiformis*, *P. pinceana* y *P. martinezii*.

En México, la principal estrategia de conservación *in situ* es el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP). En este sentido, las especies estudiadas pueden ser conservadas en las ANP existentes y, en el caso de *P. pinceana*, *P. culminicola* y *P. nelsonii*, también en ANP propuestas (Salinas-Rodríguez, Sajama, Gutiérrez, Ortega y Estrada, 2018). En el presente estudio, se determina el porcentaje del área de distribución correspondiente a las ANP's; por lo que se determinó que la red de ANPs en México no protege adecuadamente a las especies de *Pinus* distribuidas a lo largo y ancho del país (Aguirre y Duivenvoorden, 2010), por lo que son necesarias actividades de conservación *in situ* para cada especie, así como una estrategia principal de conservación *ex situ*. Se debe prestar especial atención a las estrategias relacionadas con el uso de semillas para el consumo humano; el establecimiento de unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMAs) podría proponerse como una opción porque los propietarios pueden hacer un uso sostenible del hábitat, y al mismo tiempo trabajar por la conservación de la especie (Pisanty, Urquiza y Vargas, 2016). Aunque la conservación *in situ* es esencial para renovar la diversidad genética y hacer frente a futuros cambios ambientales, la conservación *ex situ* es operativamente conveniente para obtener resultados a corto plazo (Rong-Cai y Yeh, 1995; FAO, 2014).

Es importante señalar, que debido a los problemas genéticos que presentan varias de las especies bajo estudio, la colecta de germoplasma para su conservación *ex situ* debe realizarse en todas las localidades o

poblaciones de cada una (FAO, 2014). Aunque en México se ha avanzado mucho en la regulación del uso de las especies vegetales (Pisanty *et al.*, 2016), es necesario revisar y adecuar la legislación para favorecer las actividades de conservación *in situ* y *ex situ* con las 20 especies estudiadas en este trabajo, así como con otras que están en riesgo, para conseguir como meta que las plantas mexicanas que se encuentren conservadas de manera efectiva (Caballero y Cortés, 2012).

El análisis por regiones y el análisis de contingencia incluyendo las variables socioambientales, así como otros factores, son de suma importancia para determinar la vulnerabilidad de los bosques mexicanos (Moreno-Sanchez *et al.*, 2012) y de todo el mundo. Por lo tanto, es importante destacar que, como futuros esfuerzos de investigación, la inclusión de los efectos de las perturbaciones (sequías, inundaciones, incendios, entre otros), la fragmentación del paisaje y la dinámica del uso de la tierra, así como el cambio climático en la modelización de la distribución de las especies son necesarios para proporcionar resultados más completos y precisos para la aplicación de estrategias de conservación y manejo de las áreas forestales representativas de los altos valores naturales y culturales de México (Jardel, 2015).

CONCLUSIONES

El 80% de las especies de pinos en categorías de riesgo bajo estudio, tienen distribución en las zonas de Baja California y Norte de la república mexicana; el resto, en las zonas centro y sureste. *P. strobiformis* fue la especie con el mayor número de observaciones botánico-geográficas, su frecuencia relativa fue alrededor del 30%, por el contrario, *P. attenuata* y *P. contorta* no superan el 3.0%; debido de la primera su distribución amplia en el Norte de México (en 11 estados) y las segundas son restringidas a un estado. Estos pinos considerados bajo riesgo presentan además amenazas por grados de marginación socioeconómica de la población humana donde se encuentran, en menor proporción por suelos degradados y por ubicarse en bosques con producción forestal.

En análisis de contingencia permitió identificar una asociación contundente entre las categorías de riesgo —peligro de extinción y en protección especial— y los tipos de zonificación forestal, así como con los grados de marginación y de degradación del suelo. Las frecuencias observadas, tanto en peligro de

extinción y protección especial, tienden a decrecer conforme el grado de marginación se hace más crítico. Las frecuencias observadas, en las dos categorías de riesgo, disminuyen a medida que la zonificación forestal pasa de producción a restauración. En el caso de la degradación, en la categoría moderada se observó la mayor frecuencia observada. Entonces, las proporciones de registros de las especies de pino en las dos categorías de riesgo difieren a medida que los niveles de los factores sociales, productivos y ambientales analizados cambian.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia, en esta sección.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: R.P.M. y E.V.B. Metodología y manejo de software: M.E.R.S. y J.R.H. Validación y revisión de datos: E.V.B. y M.E.R.S. Análisis formal: R.P.M., E.V.B. y J.R.H. Investigación: R.P.M. y J.R.H. Escritura: R.P.M. y J.R.H. Escritura: R.P.M., E.V.B. y M.E.R.S. Revisión y edición: R.P.M., E.V.B. y M.E.R.S. Supervisión: M.E.R.S. y E.V.B. Administración del proyecto: R.P.M.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México por financiar el estudio mediante el proyecto de investigación No. 15144934483. También, se agradece al personal de los herbarios mexicanos CHAP, CHAPA, INIF, CIDIR, CFNL, XAL, MEXU, ANSM, USON y EBUM por la ayuda y facilidades brindadas.

LITERATURA CITADA

- Agresti, A. (2007). *An introduction to categorical data analysis*. Second edition. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Aguirre G., J., & Duivenvoorden, J. F. (2010). Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 875-882.
- Baena, M. L., & Halffter, G. (2008). *Extinción de especies*. En J. Soberón, G. Halffter & J. Llorente B. (Eds.). Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 263-282). México, DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Caballero, J., & Cortés Z., L. (2012). *Los jardines botánicos mexicanos*. En N. J. Caballero (coord.). Jardines botánicos: contribución a la conservación vegetal de México (pp. 159-169). México, DF: CONABIO. ISBN: 978-607-7607-70-0
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). *Los ecosistemas terrestres*. En R. Dirzo, R. González, & I. March (Eds.). Capital natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad (pp. 87-108). México, DF: CONABIO. ISBN: 978-607-7607-02-1
- CONAPO (Comisión Nacional de Población). (2016). *Descripción de la base de datos del índice de marginación por municipio 2015. Cartografía de marginación por municipio. escala: 1:250.000*. Consultado el 08 de febrero, 2021, desde http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación). (2014). *Plan de acción mundial para la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales*. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia: FAO.
- Farjon, A. (2013a). *Pinus attenuata*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42343A2974092. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42343A2974092>.en
- Farjon, A. (2013b). *Pinus contorta*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42351A2974612. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42351A2974612>.en
- Farjon, A. (2013c). *Pinus coulteri*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42352A2974687. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42352A2974687>.en
- Farjon, A. (2013d). *Pinus jeffreyi*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42371A2975870. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42371A2975870>.en
- Farjon, A. (2013e). *Pinus cembroides ssp. lagunae*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T34185A2849785. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T34185A2849785>.en
- Farjon, A. (2013f). *Pinus monophylla*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42381A2976514. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42381A2976514>.en
- Farjon, A. (2013g). *Pinus quadrifolia*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42407A2977910. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42407A2977910>.en
- Farjon, A. (2013h). *Pinus muricata*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T34058A2841776. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T34058A2841776>.en
- Farjon, A. (2013i). *Pinus cembroides*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42350A2974560. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42350A2974560>.en
- Farjon, A. (2013j). *Pinus durangensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42358A2974963. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42358A2974963>.en
- Farjon, A. (2013k). *Pinus strobiformis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T42416A2978637. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42416A2978637>.en
- Farjon, A. (2013l). *Pinus maximartinezii*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T30975A2799675. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T30975A2799675>.en
- Farjon, A. (2013m). *Pinus caribaea var. caribaea*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T34184A2849737. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T34184A2849737>.en
- Favela, S., & Thomas, P. (2013). *Pinus pinceana*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013. e.T32629A2822604. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32629A2822604>.en
- Gernandt, D. S., & Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 126-133. <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 351-403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- Heiberger, R. M., & Holland, B. (2015). *Statistical analysis and data display: An intermediate course with examples in R*. Second edition. New York, NY, USA: Springer.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Serie VI (Capa Unión), escala: 1:250.000. edición: 1*. Aguascalientes, Ags., México: INEGI.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2013). *The IUCN Red list of threatened species*. Consultado el 20 de septiembre, 2020, desde <http://www.iucnredlist.org/>
- Jardel-Peláez, E. J. (2015). *Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal*. Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Leal-Nares, Ó., Mendoza, M. E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., & Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(4), 1152-1170. <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Martínez-Meyer, M. E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez-Noguera, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S1-S9. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Moreno-Sanchez, R., Torres-Rojo, J. M., Moreno-Sanchez, F., Hawkins, S., Little, J., & McPartland, S. (2012). National assessment of the fragmentation, accessibility and anthropogenic pressure on the forests in Mexico. *Journal Forestry Research*, 23, 529-541. <https://doi.org/10.1007/s11676-012-0293-x>

- NOM-059-SEMARNAT-2010 (Norma Oficial Mexicana). (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, publicada el 30 de diciembre de 2010. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.: SEGOB.
- NOM-059-SEMARNAT-2010 (Norma Oficial Mexicana). (2019). 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 el 14 de noviembre de 2019. *Diario Oficial de la Federación*. México, D. F.: SEGOB.
- Pisanty, I., Urquiza-Haas, E., & Vargas-Mena, A. (2016). Instrumentos de conservación *in situ* en México: logros y retos. En J. Sarukhán & I. Pisanty (Eds.). *Capital natural de México*. Vol. IV: Capacidades humanas e institucionales (pp. 245-302). CDMX: CONABIO.
- Rong-Cai, Y., & Yeh, F. C. (1995). Genetic consequences of *in situ* and *ex situ* conservation of forest trees. *Biological Conservation*, 71(2), 211. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)90018-7](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)90018-7)
- Ruiz-Jiménez, C. A., de los Santos-Posadas, H. M., Parraguirre-Lezama, J. F., & Saavedra-Millán, F. D. (2018). Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 938-949. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2192>
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Consultado el 18 de noviembre, 2020, desde https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Salinas-Rodríguez, M. M., Sajama, M. J., Gutiérrez-Ortega, J. S., Ortega-Baes, P., & Estrada-Castillón, A. E. (2018). Identification of endemic vascular plant species hotspots and the effectiveness of the protected areas for their conservation in Sierra Madre Oriental, Mexico. *Journal Nature Conservation*, 46, 6-27. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.08.012>
- Sánchez González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1), 107-120.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., ... de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. México, DF: CONABIO.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013a). Ecosistemas terrestres. En *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental* (pp. 39-117). Consultado el 30 de enero, 2021, desde https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap2_Ecosistemas.pdf
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013b). Suelos de México. En *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental* (pp. 120-153). Consultado el 30 de enero, 2021, desde https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2004). *Degradación del suelo en la república mexicana - Escala 1:250.000*. Dirección de Geomática. México, DF: CONABIO.
- SNIGF (Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal). (2012). *I. Zonas de conservación y aprovechamiento restringido o prohibido, de producción y restauración. Cobertura digital, escala: 1:250.000*. Consultado el 15 de enero, 2021, desde <https://snigf.cnf.gob.mx/zonificacion-forestal/>
- SNIGF (Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal). (2014). *I. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. INFyS 2009-2014 y Arbolado. Comisión Nacional Forestal*. Consultado el 18 de octubre, 2021, desde <https://snigf.cnf.gob.mx/resultados-2009-2014-resultados-que-recaba-los-principales-indicadores-forestales-generados-a-partir-del-analisis-estadistico-de-las-variables-levantadas-en-campo/>
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols, N., & Boege, E. (2019). *¿Qué es la diversidad biocultural?* Michoacán, México: UNAM.
- Villagómez-Loza, M. A., Bello-Gonzalez, M. Á., & Isarain-Chávez, E. (2014). *Pinus strobiformis* Engelm.: Nueva localidad para Guanajuato, México. *Agrociencia*, 48(6), 615-625.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Wackerly, D. D., Mendenhall, W., & Scheaffer, R. L. (2008). *Mathematical statistics with applications*. Seventh edition. Belmont, CA, USA: Thomson Learning, Inc.