



Acta botánica mexicana

ISSN: 0187-7151

ISSN: 2448-7589

Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

Sandoval-García, Rufino; González-Cubas, Rigoberto; Bautista-Cruz, Angelina

Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México

Acta botánica mexicana, núm. 127, e1627, 2020

Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

DOI: <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1627>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57466093020>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



# Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México

## Ecological association of *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) in response to biogeographical variations in Central-Southern of Mexico

Rufino Sandoval-García<sup>1</sup> , Rigoberto González-Cubas<sup>1,2</sup>  y Angelina Bautista-Cruz<sup>1</sup> 

### Resumen:

**Antecedentes y Objetivos:** *Pinus pseudostrobus* es una especie con un rango de distribución geográfica muy amplia con variaciones climáticas, situación que le ha permitido ser considerada de gran importancia económica y ecológica, por lo que es de mucho interés conocer su asociación natural con otras especies para definir estrategias de manejo y conservación. En este estudio, se analizaron patrones de asociación ecológica y su correlación con variables biogeográficas en las subprovincias del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur.

**Métodos:** Se usaron registros geográficos de los géneros asociados a *P. pseudostrobus* para analizar los patrones espaciales mediante un análisis estadístico multivariado y un índice de mezcla de especies. La asociación ecológica de *P. pseudostrobus* se determinó con 535 sitios geoespaciales de forma circular de una superficie de 78.54 ha a una distancia mínima de 1000 m. Se realizó una validación científica de todas las especies para corroborar su coexistencia en las regiones del presente estudio.

**Resultados clave:** Las subprovincias comparten 76% de las especies asociadas a *P. pseudostrobus*, siendo la Sierra Madre del Sur quien presentó mayor mezcla de especies ( $Mi=0.45$ ). La asociación ecológica de *P. pseudostrobus* mostró al sur de México una relación con 34 especies y en el centro con 25, principalmente de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies*. Las variables de altitud y precipitación se correlacionaron significativamente como un predictor en el grado de asociación.

**Conclusiones:** La asociación ecológica de *P. pseudostrobus* es similar en las subprovincias, pero se diferencia en su dominancia por las variaciones biogeográficas. Estos resultados tienen implicaciones para definir estrategias de manejo y conservación de la biodiversidad, debido a que en zonas con alta asociación se debe mantener la estructura y composición natural y en áreas degradadas se deben contemplar grupos funcionales.

**Palabras clave:** conservación, índice de mezcla, interacciones ecológicas, patrones espaciales.

### Abstract:

**Background and Aims:** *Pinus pseudostrobus* is a species with a very wide geographical distribution range with climatic variations, a situation that has allowed it to be determined of great economic and ecological importance, so it is of much interest to know its natural association with other species to define management strategies and conservation. In this study, we analyze the patterns of ecological association and their correlation with biogeographic variables in the subprovinces of the Neovolcanic belt and the Sierra Madre del Sur.

**Methods:** Geographical records of the genera associated with *P. pseudostrobus* were used to analyze spatial patterns through a multivariate statistical analysis and a species mix index. The ecological association of *P. pseudostrobus* was determined with 535 circular geospatial sites with a surface of 78.54 ha at a minimum distance of 1000 m. A scientific validation of all species was carried out to corroborate their coexistence in the regions of the present study.

**Key results:** The subprovinces share 76% of the species associated with *P. pseudostrobus*, being the Sierra Madre del Sur which presented the greatest mix of species ( $Mi=0.45$ ). The ecological association of *P. pseudostrobus* showed a relationship with 34 species in southern Mexico and 25 in the center, mainly from the genera *Pinus*, *Quercus* and *Abies*. Altitude and precipitation variables were significantly correlated as a predictor in the degree of association.

**Conclusions:** The ecological association of *P. pseudostrobus* is similar in the subprovinces, but it differs in its dominance by the biogeographical variations. These results have implications for defining biodiversity management and conservation strategies, because in areas with high association the natural structure and composition must be maintained and in degraded areas functional groups must be contemplated.

**Key words:** conservation, ecological interactions, mix index, spatial patterns.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, carretera Nacional 85, km 145, 67700 Linares, Nuevo León, México.

<sup>2</sup>Autor para la correspondencia:  
rigocubas\_11@hotmail.com

Recibido: 17 de octubre de 2019.

Revisado: 28 de noviembre de 2019.

Aceptado por Pablo Cuevas-Reyes: 9 de diciembre de 2019.

Primero en línea: 11 de febrero de 2020.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 127(2020).

Citar como: Sandoval-García, R., R. González-Cubas y A. Bautista-Cruz. Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México. 2020. Acta Botanica Mexicana 127: e1627. DOI: 10.21829/abm127.2020.1627



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

## Introducción

*Pinus pseudostrobus* Lindl. es una especie con un gran rango de distribución en diferentes condiciones biogeográficas, principalmente en zonas de transición de climas templados a fríos y templados a cálidos (Perry, 1991; López-Upton, 2002; Farjon, 2013a). Se considera de gran importancia económica, por lo cual, sus poblaciones naturales se han visto afectadas durante las últimas décadas debido al aprovechamiento excesivo, al aumento en el cambio de uso del suelo y a la recurrencia de incendios forestales (Viveros-Viveros et al., 2005; Cisneros-González et al., 2018).

La mayor distribución de esta especie se presenta en las regiones centro (Eje Neovolcánico) y sur (Sierra Madre del Sur) de México, debido a la dinámica de sus ecosistemas, como resultado de su posición geográfica, variaciones climáticas, diferencias altitudinales, tipo de suelo e influencia antropogénica (García-Barrios y González-Espínosa, 2017; Morrone, 2017; CONABIO, 2018). Estas condiciones describen la dinámica de los patrones espaciales de especies de plantas con amplia distribución geográfica y son el resultado de su diferenciación adaptativa a diversos ambientes, influenciados principalmente por gradientes altitudinales y por la precipitación, que están estrechamente asociados en el crecimiento y desarrollo de los ecosistemas (López-Sandoval et al., 2015; Pellissier et al., 2018). Además, la variación geográfica desempeña un papel fundamental en la diversidad, estructura y distribución geográfica de las especies y es un elemento clave en la identificación de estrategias de conservación espacial (Zhao et al., 2018; Gardner et al., 2019).

La mayoría de los estudios publicados actualmente, se han limitado a la ecología y manejo de las especies a nivel regional (Cambrón-Sandoval et al., 2014; Graciano-Ávila et al., 2017) y muy pocos han incluido en sus análisis aspectos biogeográficos (Lenormand et al., 2019; Uribe-Salas et al., 2019). Por tal motivo es importante considerar dichas variables y con ello determinar las interacciones específicas, el grado de relación con estas especies y comprender los factores que afectan su persistencia y que les permiten coexistir.

Dicha información permitirá identificar grupos con alta asociación ecológica para definir estrategias de con-

servación y restauración de ecosistemas forestales, principalmente bosques de coníferas, los cuales son de suma importancia para México, ya que en ellos se albergan 49 especies del género *Pinus* L. de las 120 descritas en el mundo y 22 de las cuales son endémicas al país, contribuyendo de esta forma con la conservación de la biodiversidad (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Villaseñor, 2016).

El objetivo del presente estudio fue identificar las asociaciones ecológicas de *P. pseudostrobus* y su relación con variables biogeográficas como principal determinante de su distribución. Como hipótesis consideramos que la altitud y la precipitación son los factores más importantes que determinan el grado de asociación ecológica de las especies.

## Materiales y Métodos

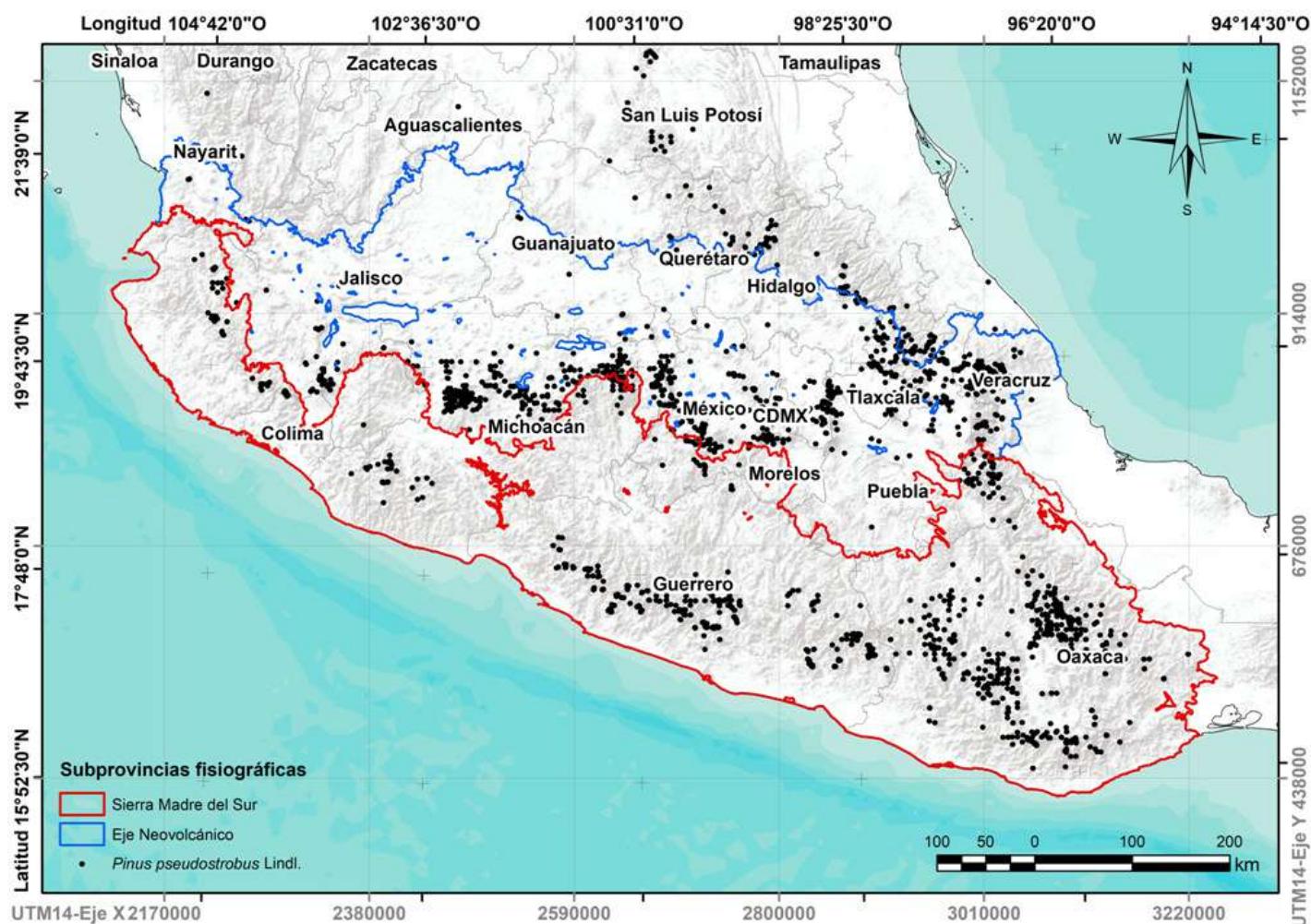
### Área de estudio

El área de estudio comprende dos subprovincias fisiográficas: El Eje Neovolcánico (ENEO) y la Sierra Madre del Sur (SMSUR), debido a que en ellas se presenta la mayor distribución de *Pinus pseudostrobus* con más de 92% de los registros existentes (Sáenz-Romero et al., 2013; CONABIO, 2018 (Fig. 1)).

El ENEO es una subprovincia que comprende altitudes entre 500 y 4300 m, representa uno de los mayores sistemas montañosos del centro de México y se caracteriza por su vegetación dominante de especies arbóreas en bosques templados y en regiones alpinas; la SMSUR es una cadena montañosa muy compleja que se localiza al sur de México, su rango altitudinal oscila entre 200 y 3700 m, en los que se distribuyen bosques templados y lluviosos (Morrone, 2005; García-Barrios y González-Espínosa, 2017; Morrone, 2017).

### Sistematización de la información geoestadística

Se realizó la descarga y sistematización de registros de los géneros *Abies* Mill., *Pinus*, *Pseudotsuga* Carrière, *Quercus* L. y *Taxus* L. que se distribuyen en las subprovincias fisiográficas, de los geoportales de EncicloVida (2019), Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB, 2019) y Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF,



**Figura 1:** Subprovincias fisiográficas del centro-sur de México, mapa basado en el catálogo de metadatos geográficos de CONABIO (1997): Sierra Madre del Sur (SMSUR) y Eje Neovolcánico (ENEO), donde se observan los registros de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

2019). De las bases de datos se realizó la depuración de elementos duplicados y de registros de más de 10 años de antigüedad, se obtuvo un total de 42,062 registros para ENEO y 45,633 para SMSUR.

### Análisis de patrones espaciales

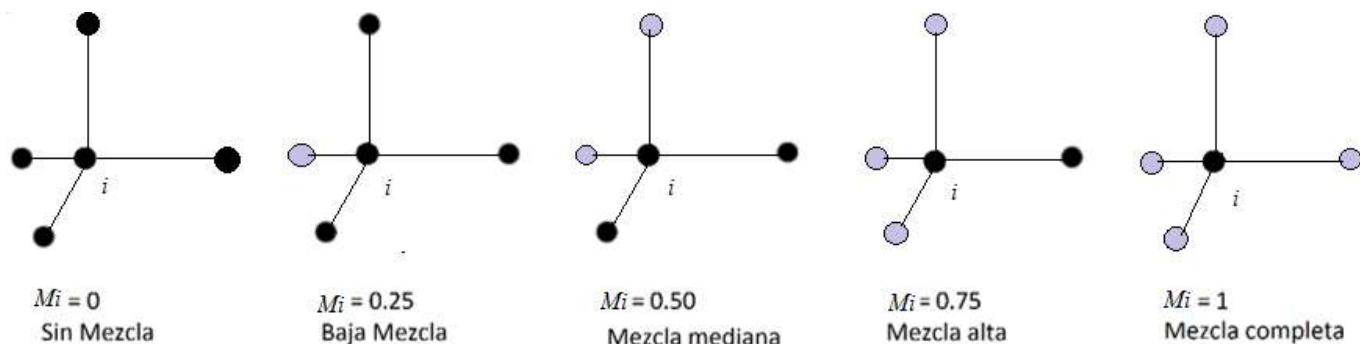
Para identificar las especies de mayor similitud en cada subprovincia, se empleó un análisis estadístico multivariado de grupos (Cluster Analysis, CA), en el Software R-project (R Core Team, 2019). Se obtuvo una matriz con el método jerárquico de Ward con una distanciación de agrupamiento euclíadiana, utilizando datos homogéneos y en unidades similares del total de los registros de densidad para cada especie en cada subprovincia. Las clasificaciones se utilizaron para obtener tanglegramas, que muestran una red

bipartita de agrupaciones ecológicas de las especies entre las subprovincias. Estas asociaciones pueden usarse como indicadores ecológicos de ensambles comunitarios, cambios ambientales y condiciones del hábitat (Castillón et al., 2015).

### Índice de mezcla de especies

La mezcla de especies se analizó mediante grupos estructurales (GE) considerando cada sitio bajo estudio como una unidad de muestreo. El GE es un conjunto de cinco árboles, en el que *P. pseudostrobus* funge como referencia para los cuatro vecinos más cercanos (Pommerening, 2002).

Aplicando técnicas estadísticas se determinó el Índice de Mezcla de Especies ( $M_i$ ) de Fülder (1995), el cual se basa en el supuesto de que la estructura espacial de un



**Figura 2:** Ejemplo del grupo estructural de los diferentes resultados del índice de mezcla ( $Mi$ ) de especies con los cuatro vecinos más próximos, donde *Pinus pseudostrobus* Lindl. fungo como árbol de referencia.

rodal forestal está determinada por la distribución de las relaciones estructurales específicas dentro de los grupos vecinos de árboles. Describe la composición de las especies y el patrón espacial de los árboles forestales (Fig. 2); este índice se estima mediante la siguiente fórmula:

$$Mi = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V_j$$

Donde  $Mi$ =índice de mezcla,  $V_j$ =árboles vecinos,  $i$ =árbol de referencia.

### Determinación de la asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus*

Con base en los registros de *P. pseudostrobus* se realizó un diseño de muestreo aleatorio, con sitios geoespaciales de forma circular de una superficie de 78.54 ha (radio=500 m), a una distancia mínima de 1000 m (272 sitios para ENEO y 263 para SMSUR), a los cuales se les realizó la verificación de cobertura forestal mediante imágenes satelitales de alta resolución (1.14 m/pixel) (SASGIS, 2019). Este tamaño de sitio cumple con una distancia óptima para tener la probabilidad de encontrar mayor diversidad de especies, como resultado de la dispersión de semillas ligeras (determinada a una distancia igual a la altura del árbol o en algunos casos de dos a cinco veces), y de condiciones climáticas y topográficas del área (Hawley y Smith, 1982; Salazar-Tortosa et al., 2019).

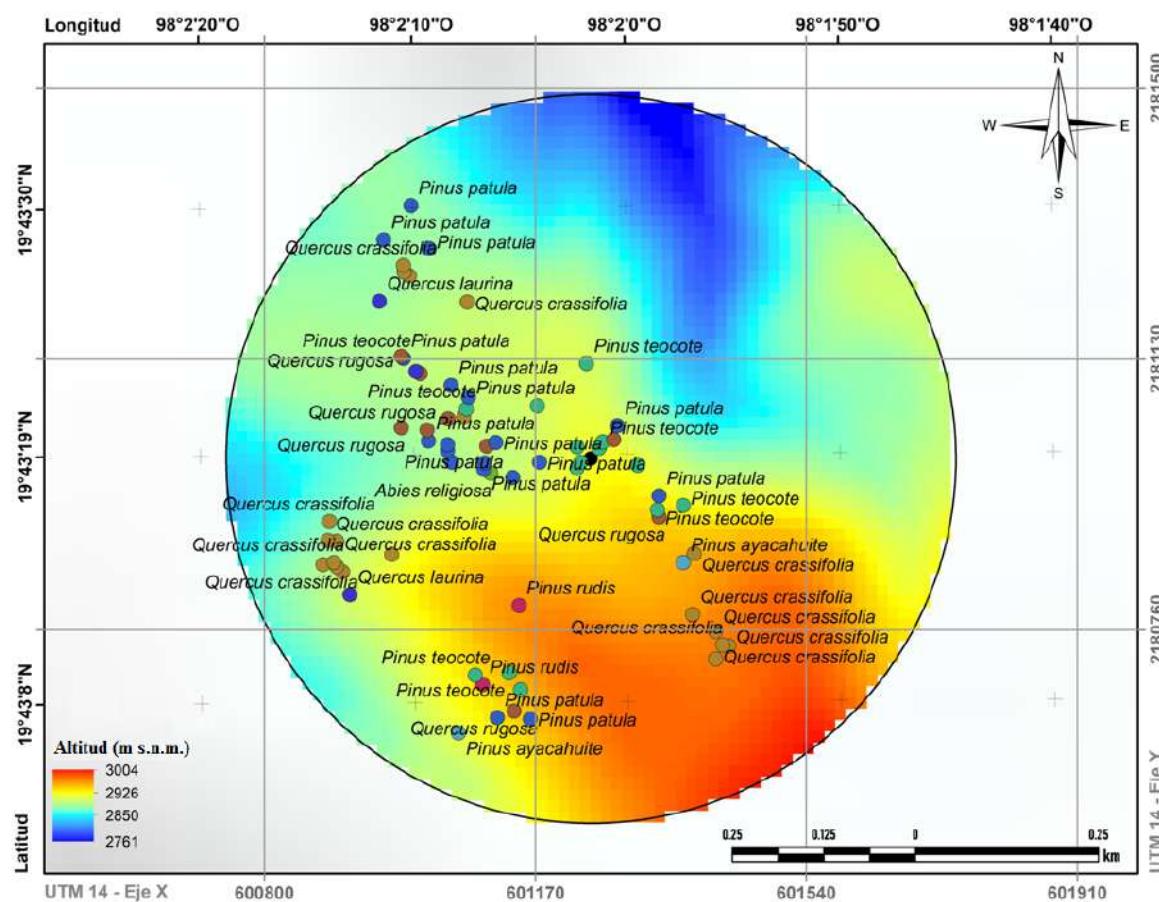
Mediante el software QGIS 2.18.25 “Las Palmas” (QGIS-Development Team, 2019), y a partir de la operación de intersección, se obtuvo la combinación espacial de la

capa “sitios de muestreo” y “registros de las especies”, el cual permitió la identificación de las principales asociaciones ecológicas de *P. pseudostrobus* (Fig. 3).

Se realizó la caracterización de las variables biogeográficas de cada una de las asociaciones ecológicas, principalmente altitud y precipitación. Para determinar la altitud de cada registro se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (INEGI, 2019) y la precipitación mensual promedio (periodo 1910-2009) se obtuvo de las Superficies Climáticas para México del Centro de Recursos Idrísi (Cuervo-Robayo et al., 2014). Se realizó un análisis de correlación de Spearman (R Core Team, 2019) entre las variables biogeográficas de cada especie (altitud y precipitación). Mediante este análisis se examina si existe una relación negativa o positiva de los valores jerarquizados de cada variable, en función de coeficiente de correlación que puede variar de -1 a 1 (Martínez-Ortega et al., 2009), y con ello poder identificar el grado de asociación entre las especies.

### Validación de la asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus*

Para validar las especies pertenecientes a los géneros de *Abies*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Quercus* y *Taxus*, distribuidas en las subprovincias ENEO y SMSUR, así como su asociación ecológica con *P. pseudostrobus*, se revisaron 59 trabajos de investigación realizados en los últimos diez años (Cuadro 1), en donde se sistematizaron las siguientes variables: ubicación geográfica, altitud, precipitación y especies de asociación.



**Figura 3:** Ejemplo demostrativo de asociación de especies con *Pinus pseudostrobus* Lindl. para cada sitio (radio=500 m), donde se observa la distribución geográfica a diferentes gradientes altitudinales.

## Resultados

### Patrones espaciales

Con base en el algoritmo del análisis clúster, se realizó la agrupación bajo el método de la silueta promedio para una mejor calidad de los grupos. En la subprovincia SMSUR se presentaron dos grupos dominantes (Dist. máx 7) y seis grupos inferiores (Dist. mín 1), mientras que en el ENEO fueron tres dominantes (Dist. máx 6) y cinco inferiores (Dist. mín 1), como resultado de las características biogeográficas de cada región. Este análisis permite entender la forma en que se conectan entre sí las subprovincias, en el sentido de que ambas regiones están conectadas entre 71 y 82% de las especies que comparten (Fig. 4).

### Índice de mezcla de especies

En la SMSUR, 18.6% de los sitios de muestreo no presenta mezcla de especies (=0) por lo cual se consideran bosques

puros de *P. pseudostrobus*, 27.3% se asocia con dos especies diferentes (=0.5) y en 10.2% existe una alta mezcla (=1) considerándose bosques mixtos, debido a que mínimo cuatro de los vecinos más próximos son de especies diferentes. El caso contrastante se observa en la subprovincia ENEO donde se registró 38.9% de los sitios sin mezcla y solo 6.2% presentan una composición alta. De tal manera se puede observar que existe una diferencia en cuanto a diversidad de especies de ambas subprovincias (Fig. 5). Estadísticamente las subprovincias mostraron diferencias significativas en términos de diversidad arbórea (chi-cuadrada=29.40 y un valor p=0.05).

### Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus*

En SMSUR se presenta una asociación ecológica de *P. pseudostrobus* con 34 especies, principalmente coníferas y encinos (Fig. 6A). Es importante recalcar que existe también una asociación con otras especies: *Alnus acuminata* Kunth,

**Cuadro 1:** Validación de las especies, con sus respectivos rangos máximos y mínimos de altitud y precipitación, asociadas a *Pinus pseudostrobus* Lindl. en las subprovincias Sierra Madre del Sur (SMSUR) y Eje Neovolcánico (ENEO). Subp.=Subprovincia; Ref=altitud mínima reportada por la literatura.

| Especie   | Subp. | Altitud (m s.n.m.) |      |      |      | Precipitación (mm) |      |      |      | Validación  |
|---|-------|--------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|---|
|   |       | Mín                | Ref  | Máx  | Ref  | Mín                | Ref  | Máx  | Ref  |   |
| <i>Abies guatemalensis</i> Rehd.                    | SMSUR | 2067               |      | 2550 | 3015 | 870                | 1500 | 1548 | 3000 | Sorensen et al., 2013; Munguía-Lino et al., 2015; Cruz-Cárdenas et al., 2016.   |
|   | ENEO  | 2060               | 1800 | 2221 |      | 886                |      | 1169 |      |   |
| <i>Abies hickelii</i> Flous & GausSEN               | SMSUR | 2232               |      | 3549 | 3000 | 953                | 1000 | 1731 | 1700 | Farjon, 2013b; Estrada-Contreras et al., 2015.  |
|   | ENEO  | 2500               | 2500 | 2854 |      | 653                |      | 1520 |      |   |
| <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schiltl. & Cham.     | SMSUR | 2415               |      | 3351 |      | 1361               |      | 1749 |      | Estrada-Contreras et al., 2015; González-Méndez et al., 2016; Walte-Vega et al., 2017; García-Espinoza et al., 2018.  |
|   | ENEO  | 2060               | 2100 | 3370 | 3100 | 562                | 1000 | 1344 | 1500 |   |
| <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth                     | SMSUR | 1989               |      | 2983 |      | 1022               |      | 1257 |      | Aguilera-Reyes et al., 2013; Ramírez-Albores et al., 2014; García-Aguilar et al., 2015; Cerano-Paredes et al., 2016.  |
|   | ENEO  | 2344               | 1600 | 3239 | 3000 | 501                | 600  | 1044 | 1000 |   |
| <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schiltl.         | SMSUR | 1646               |      | 3549 |      | 776                |      | 1749 |      | Ávila-Sánchez et al., 2010; Santibáñez-Andrade et al., 2015; Ríos-Altamirano et al., 2016; Ramos-Dorantes et al., 2017; Aceves-Rangel et al., 2018.           |
|   | ENEO  | 2144               | 1900 | 3180 | 3200 | 707                | 1000 | 1212 | 1800 |   |
| <i>Pinus cembroides</i> Zucc.                       | SMSUR | 2492               |      | 2920 | 2800 | 692                | 380  | 1592 |      | Farjon, 2013c; Aceves-Rangel et al., 2018.  |
|   | ENEO  | 2763               | 1350 | 3027 |      | 467                |      | 877  | 650  |   |
| <i>Pinus devoniana</i> Lindl.                       | SMSUR | 1158               |      | 2811 |      | 776                |      | 1684 |      | Ávila-Sánchez, 2010; Santiago-Pérez et al., 2014; Marlés-Magre et al., 2015; García-Espinoza et al., 2018.  |
|   | ENEO  | 1352               | 900  | 2500 | 2500 | 1025               | 1000 | 1525 | 1500 |   |
| <i>Pinus douglasiana</i> Martínez                   | SMSUR | 1032               |      | 2863 |      | 776                |      | 1747 |      | Santiago-Pérez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2015; Ríos-Altamirano et al., 2016; García-Espinoza et al., 2018.   |
|   | ENEO  | 2156               | 1400 | 3475 | 2500 | 944                | 700  | 1150 | 1600 |   |
| <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.                       | SMSUR | 2232               |      | 3541 | 4300 | 953                | 700  | 1724 | 1800 | Farjon, 2013d; Villanueva-Díaz et al., 2015; Baeza-Guzmán et al., 2017.   |
|   | ENEO  | 3040               | 2500 | 3425 |      | 919                |      | 1021 |      |   |
| <i>Pinus herrerae</i> Martínez                      | SMSUR | 1049               |      | 2966 |      | 870                |      | 2015 |      | Ávila-Sánchez et al., 2010; Farjon, 2013e; Ávila-Coria et al., 2014; Aceves-Rangel et al., 2018.  |
|   | ENEO  | 2424               | 1200 | 2584 | 2500 | 1035               | 900  | 1263 | 1600 |   |
| <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schiltl. & Cham. | SMSUR | 1734               |      | 2885 |      | 776                |      | 1711 |      | Santiago-Pérez et al., 2014; García-Aguilar et al., 2015; Ríos-Altamirano et al., 2016; Ramos-Dorantes et al., 2017.  |
|   | ENEO  | 2206               | 1600 | 3425 | 3000 | 508                | 700  | 1386 | 1950 |   |
| <i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald         | SMSUR | 2005               |      | 2122 | 2300 | 1130               | 500  | 1146 | 600  | Farjon, 2013f.  |
|   | ENEO  | 2243               | 1600 | 2589 |      | 668                |      | 1056 |      |   |
| <i>Pinus montezumae</i> Lamb.                       | SMSUR | 1108               |      | 2980 |      | 753                |      | 1971 |      | Guerrero-Hernández et al., 2014; De los Santos-Posadas et al., 2015; Vásquez-Bautista et al., 2016; López-Hernández et al., 2017; López-Escobar et al., 2018. |
|   | ENEO  | 2020               | 1150 | 3370 | 3200 | 438                | 800  | 1209 | 1000 |   |
| <i>Pinus oaxacana</i> Mirov.                        | SMSUR | 2004               |      | 2989 | 3200 | 861                | 1000 | 1260 |      | Ramírez-García et al., 2009; García-Aguilar et al., 2015.   |
|   | ENEO  | 2492               | 1500 | 2992 |      | 552                |      | 1300 | 1500 |   |
| <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schiltl.            | SMSUR | 1049               |      | 2811 |      | 911                |      | 2176 |      | Aguilera-Reyes et al., 2013; Cerano-Paredes et al., 2015; Ibarra-Montoya y Huerta-Martínez, 2016; Ramos-Dorantes et al., 2017; Aceves-Rangel et al., 2018.    |
|   | ENEO  | 2056               | 500  | 2928 | 2700 | 808                | 700  | 1106 | 3000 |   |
| <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schiltl. & Cham.     | SMSUR | 1734               |      | 3153 |      | 776                |      | 1526 |      | García-De la Cruz et al., 2013; Lemus-Cervantes et al., 2015; Ríos-Altamirano et al., 2016; Ramos-Dorantes et al., 2017; Juárez-Ortiz et al., 2018.           |
|   | ENEO  | 1911               | 1600 | 3099 | 3100 | 508                | 1000 | 1526 | 2200 |   |

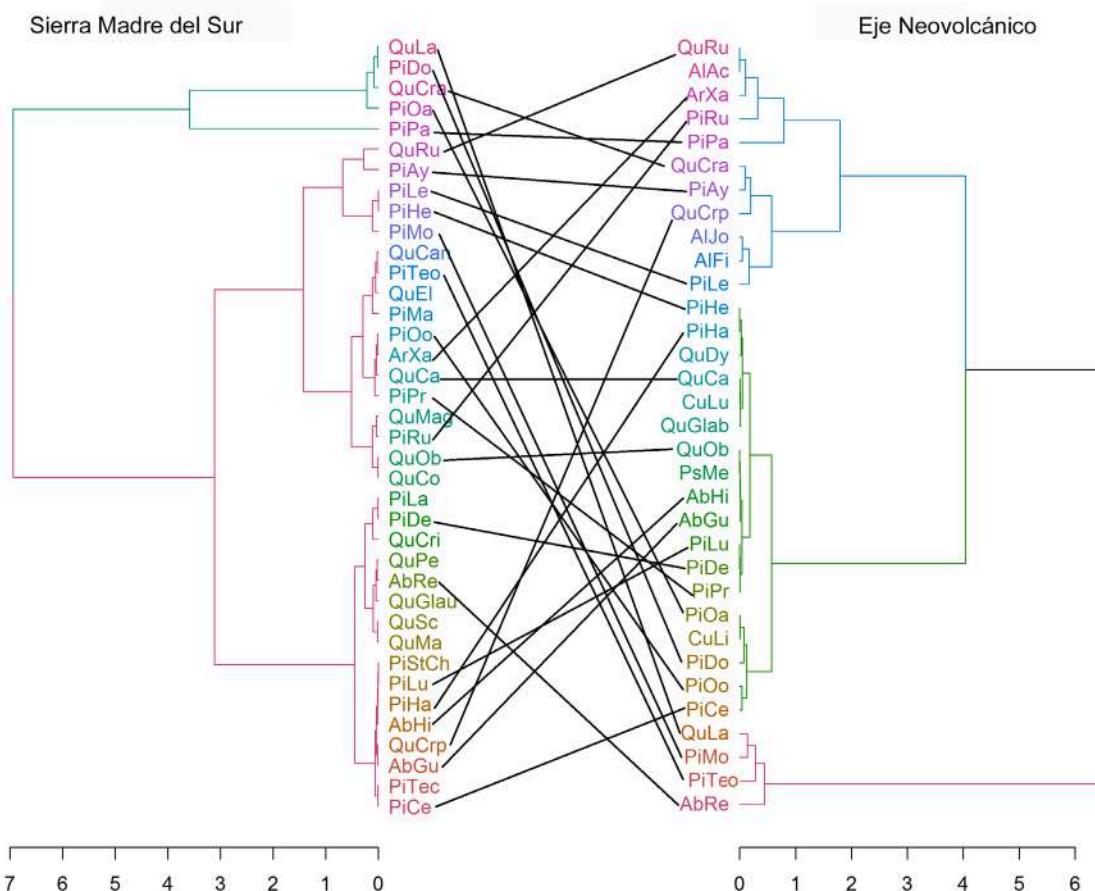
Cuadro 1: Continuación.

| Especie  | Subp. | Altitud (m s.n.m.) |      |      |      | Precipitación (mm) |      |      |      | Validación   |
|--|-------|--------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|--|
|  |       | Mín                | Ref  | Máx  | Ref  | Mín                | Ref  | Máx  | Ref  |  |
| <i>Pinus pringlei</i> Shaw                       | SMSUR | 1135               |      | 2823 | 2500 | 776                | 1000 | 2176 | 2000 | Farjon, 2013g; Morales-Saldaña et al., 2015; Ortiz-Martínez y Gernandt, 2016.  |
|  | ENEQ  | 1200               | 1500 | 2500 |      | 1169               |      | 2169 |      |  |
| <i>Pinus rufa</i> Endl.                          | SMSUR | 2520               |      | 3009 | 3400 | 1009               | 600  | 1291 | 1000 | Ríos-Altamirano et al., 2016; Paz-Pellat et al., 2017.   |
|  | ENEQ  | 2402               | 2200 | 3228 |      | 713                |      | 1021 |      |  |
| <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. & Cham. | SMSUR | 1136               |      | 2861 |      | 744                |      | 1971 |      | Hernández-Ramos et al., 2015; Vásquez-Bautista et al., 2016; Ramos-Dorantes et al., 2017; Guerra-De la Cruz et al., 2018; Ríos-Camey et al., 2019.   |
|  | ENEQ  | 2085               | 1500 | 3146 | 3100 | 508                | 500  | 1060 | 1000 |  |
| <i>Quercus castanea</i> Née                      | SMSUR | 1041               |      | 2563 | 2600 | 1013               | 600  | 2168 |      | Wenzell y Kenny, 2015.   |
|  | ENEQ  | 2355               | 1400 | 3031 |      | 979                |      | 1387 | 1500 |  |
| <i>Quercus crassifolia</i> Bonpl.                | SMSUR | 1117               |      | 2992 |      | 840                |      | 1971 |      | Flores-Vásquez et al., 2013; Córdova-Chávez et al., 2014; Granados-Victorino et al., 2015; Ríos-Altamirano et al., 2016; Gorgonio-Ramírez, 2017; Méndez-Osorio et al., 2018; Uribe-Salas et al., 2019. |
|  | ENEQ  | 1869               | 1300 | 3128 | 2900 | 718                | 800  | 1628 | 1200 |  |
| <i>Quercus crassipes</i> Bonpl.                  | SMSUR | 2403               |      | 2908 |      | 1061               |      | 1363 |      | Ramírez-Albores et al., 2014; Rojas-Zenteno et al., 2016; Jerome, 2018a; Uribe-Salas et al., 2019.   |
|  | ENEQ  | 2667               | 2200 | 3077 | 2900 | 713                | 800  | 933  | 1400 |  |
| <i>Quercus laurina</i> Bonpl.                    | SMSUR | 1108               |      | 3036 |      | 753                |      | 1806 |      | Ávila-Sánchez et al., 2010; Rivera-Hernández et al., 2015; Tamarit-Urias et al., 2017; García-Espinoza et al., 2018; Uribe-Salas et al., 2019.   |
|  | ENEQ  | 2321               | 1500 | 3087 | 3300 | 676                | 800  | 1526 | 1200 |  |
| <i>Quercus obtusata</i> Bonpl.                   | SMSUR | 1136               |      | 2573 |      | 1011               |      | 2168 |      | Ávila-Sánchez et al., 2010; Santiago-Pérez et al., 2014; Cerano-Paredes et al., 2015; Salgado-Terrones et al., 2017; Jerome, 2018b; Uribe-Salas et al., 2019.  |
|  | ENEQ  | 2351               | 1650 | 2591 | 2700 | 987                | 700  | 1169 | 1500 |  |
| <i>Quercus rugosa</i> Née                        | SMSUR | 1190               |      | 2810 |      | 906                |      | 1525 |      | Flores-Vásquez et al., 2013; Ramírez-Albores et al., 2014; García-Aguilar et al., 2015; Jerome, 2017; García-Espinoza et al., 2018; Uribe-Salas et al., 2019.  |
|  | ENEQ  | 2088               | 1800 | 3094 | 3000 | 537                | 1500 | 1126 | 1650 |  |

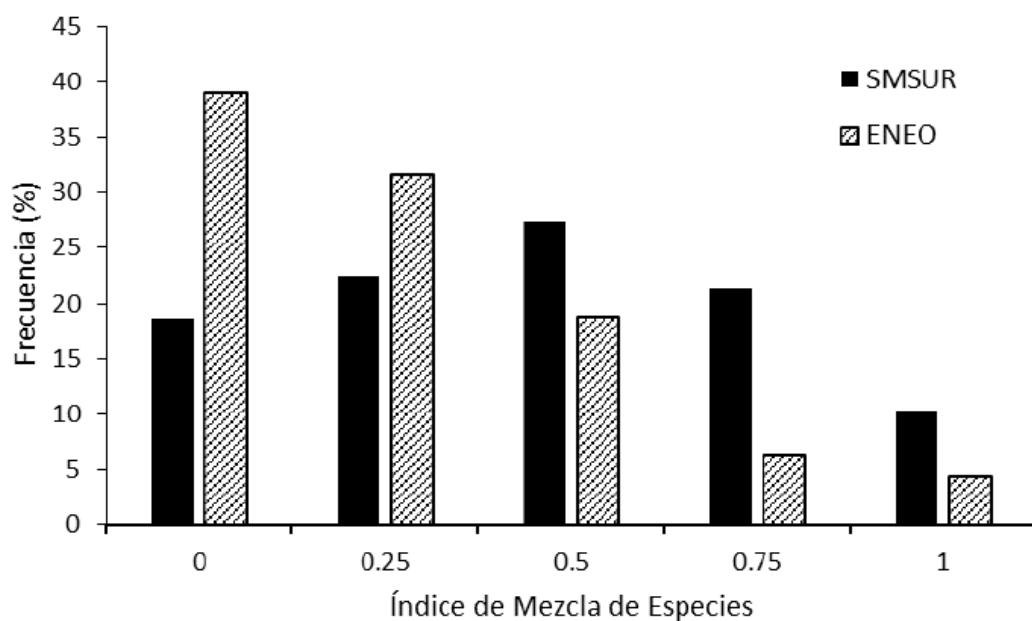
*Cupressus lusitanica* Mill., *Juniperus flaccida* Schltdl. y *Arbutus xalapensis* Kunth; sin embargo, dichas especies no siempre se registran, porque no representan alto interés económico.

En ENEQ se presenta una asociación ecológica de *P. pseudostrobus* con 25 especies (Fig. 6B), principalmente de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies*; no obstante, también se da una asociación con *Alnus firmifolia* Fernald, *Alnus jorullensis* Kunth, *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Juniperus deppeana* Steud., *Juniperus monticola* Martínez y *Arbutus xalapensis*.

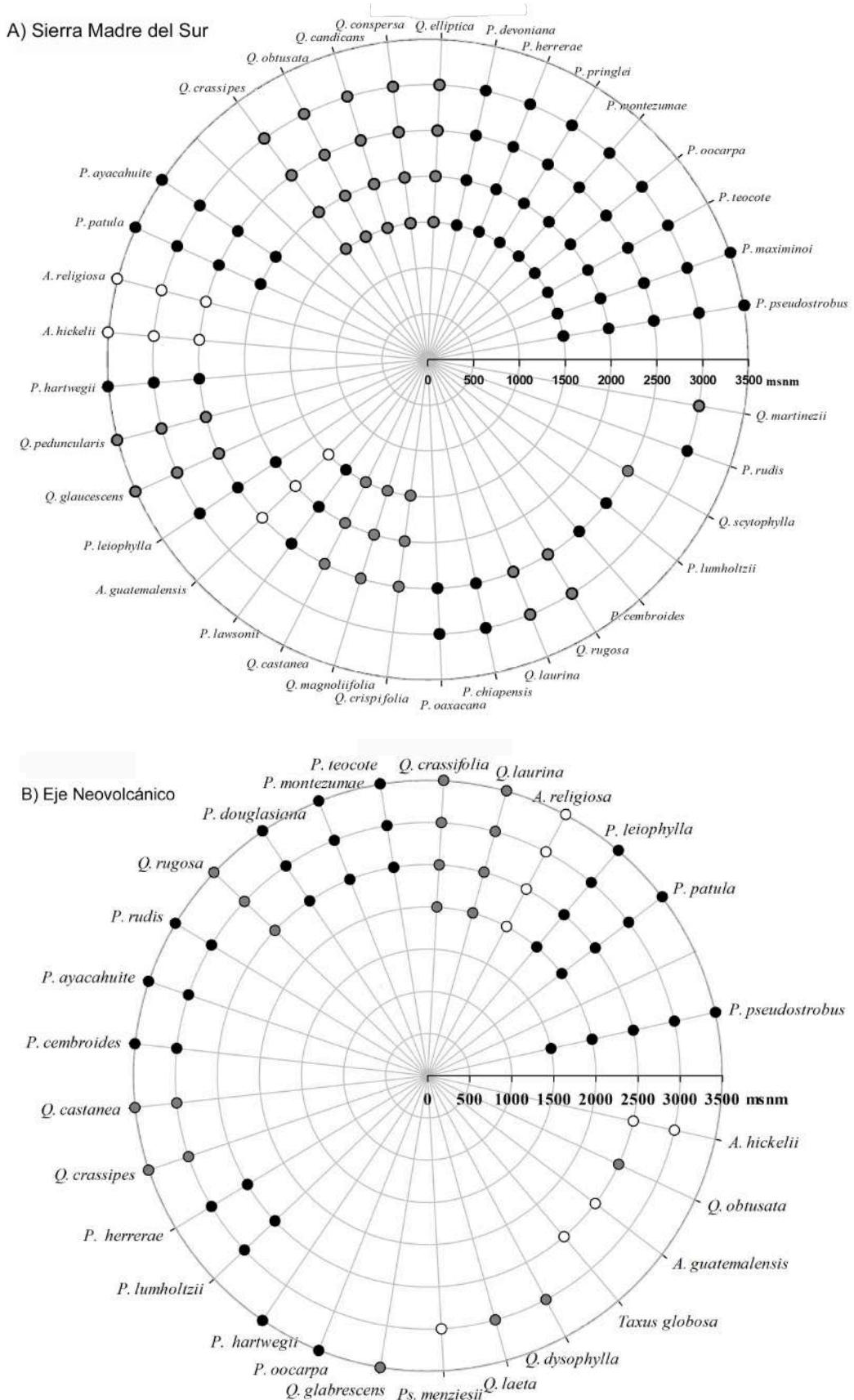
En las dos sub provincias, se observó una tendencia negativa entre la altitud y precipitación, de tal forma que cuando aumenta la altitud disminuye la precipitación; sin embargo, esta correlación no es significativa, SMSUR ( $rs=-0.283, p=0.168$ ) y ENEQ ( $rs=-0.360, p=0.076$ ), como consecuencia de la gran variación en la distribución de las especies. Se aprecia que algunas especies mantienen una asociación por rango altitudinal, pero se separan por los intervalos de precipitación; no obstante, otras mantienen una estrecha asociación con ambas variables (Fig. 7).



**Figura 4:** Tanglegrama que muestra la comparación de especies entre subprovincias, con base en la densidad de sus distribuciones, las líneas unen la misma especie y en caso contrario indican una ausencia entre las regiones. Los nombres completos de las especies se muestran en el [Apéndice](#).

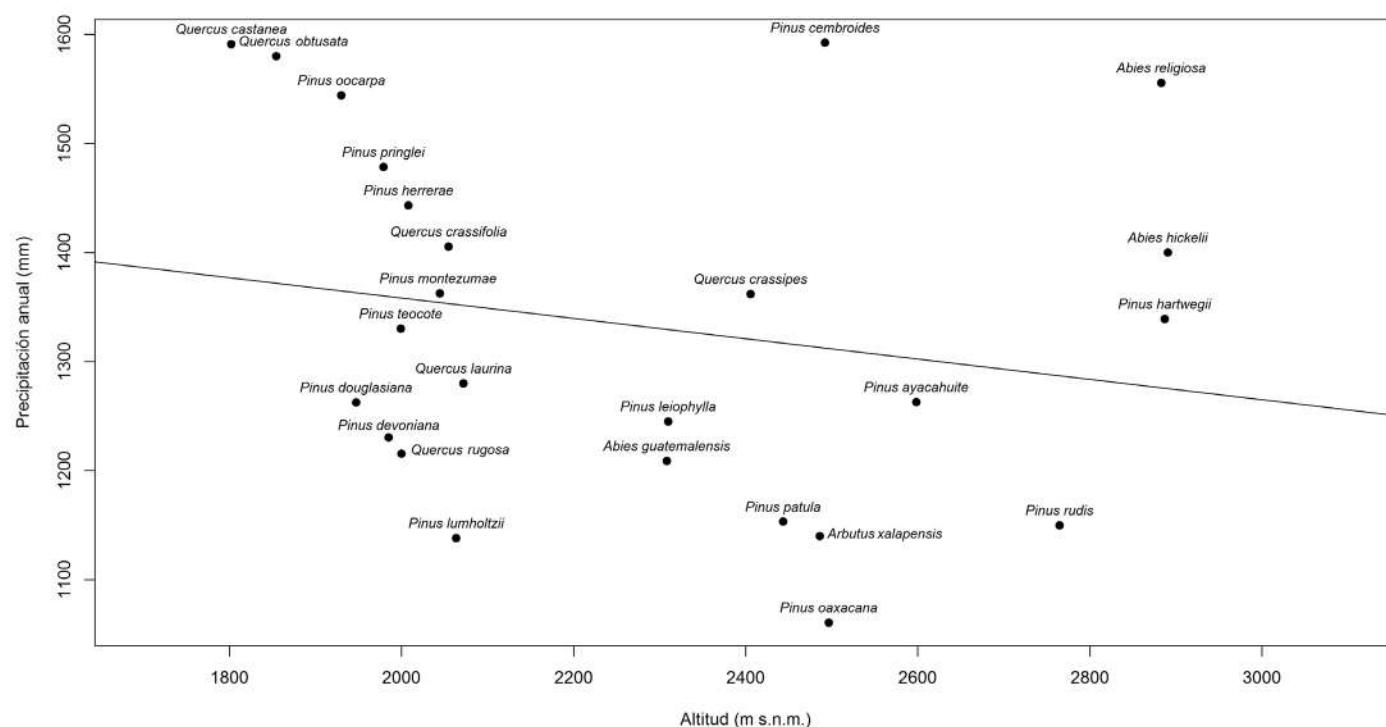


**Figura 5:** Distribución porcentual del índice de mezcla de especies para las subprovincias Sierra Madre del Sur (SMSUR) y Eje Neovolcánico (ENEO), donde áreas con alta proporción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. reflejan valores bajos de mezcla.

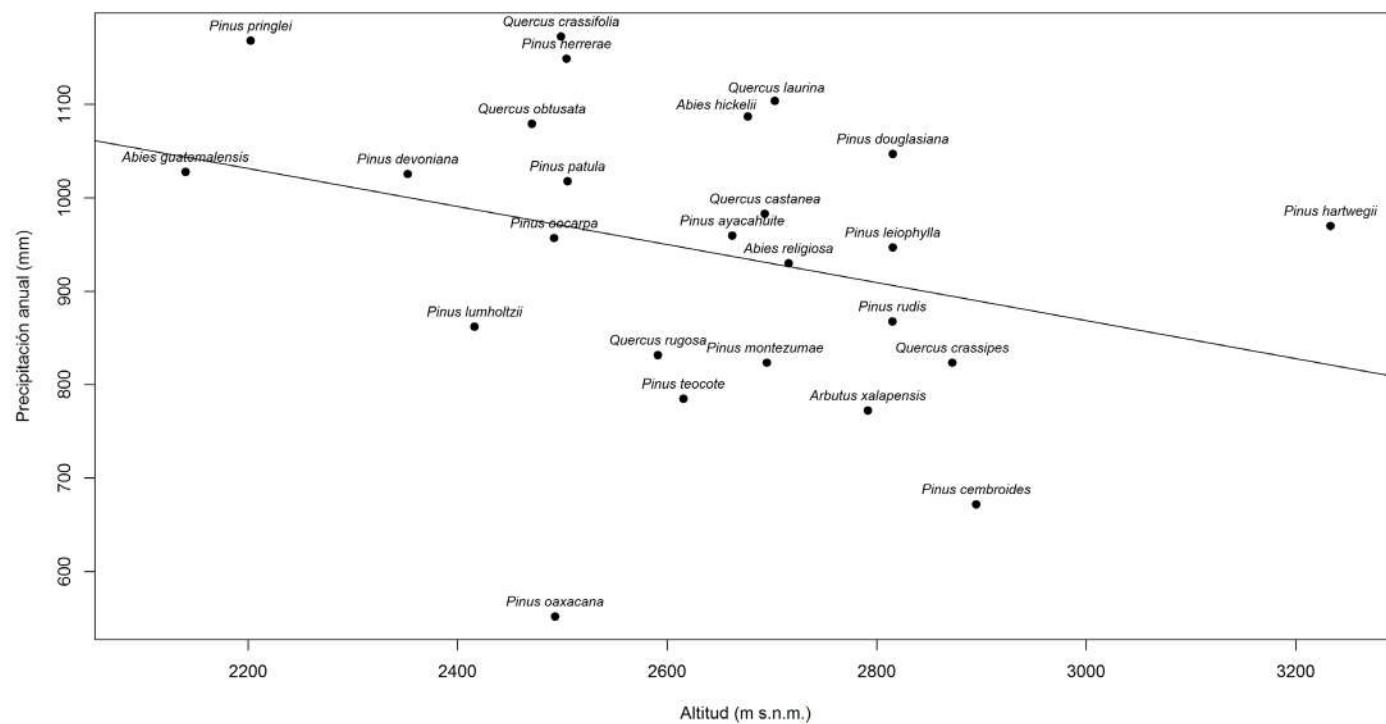


**Figura 6:** A. Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* Lindl. definido con base en el rango altitudinal de desarrollo de 35 especies en la Sierra Madre del Sur (SMSUR); B. Veintiseis especies en el Eje Neovolcánico (ENEO).

## A) Sierra Madre del Sur



## B) Eje Neovolcánico



**Figura 7:** Correlación de Spearman entre la precipitación anual y la altitud promedio de todas las especies asociados con *Pinus pseudostrobus* Lindl. para SMSUR (A) y ENEO (B).

## Validación de la asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus*

La flora total registrada en los 535 sitios muestreados incluyó cinco familias de plantas arbóreas, siete géneros y un total de 46 especies. Pinaceae (3 géneros, 29 especies), Fagaceae (1, 17), Betulaceae (1, 3), Cupressaceae (1, 2) y Ericaceae (1, 1) representan la diversidad de las subprovincias. Para la validación, únicamente se contemplaron las especies presentes compartidas en ambas subprovincias, dando un total de 25 especies distribuidas en los rangos altitudinales de 500 hasta 4300 m s.n.m., con una precipitación anual de 438 a 2176 mm (Cuadro 1).

## Discusión

Las subprovincias comparten una gran similitud en cuanto a la distribución de especies, pero se diferencian en su dominancia; esto se debe en gran medida al sistema montañoso. En este sentido, la Sierra Madre del Sur es de mayor complejidad por su historia geológica y paleoclimática, lo que ha generado una heterogeneidad de ecosistemas, mostrando como resultado el establecimiento y permanencia de una riqueza de especies donde el bosque de coníferas y encino es predominante por arriba de los 1500 m s.n.m. (Morrone, 2017). En comparación, el Eje Neovolcánico es la subprovincia más alta de México, donde se originan dos de los ríos más importantes (el Lerma y el Balsas), que caracterizan una vegetación dominada por aquella propia de los glaciares de alta montaña (Morrone, 2005).

Estas variaciones biogeográficas del Centro-Sur de México permitieron comprender que las 25 especies asociadas en ambas subprovincias presentan una similitud en su ecología, y dan como resultado la generación de nichos ecológicos específicos para ciertas especies; por ejemplo, *Pinus patula* Schltdl. & Cham., *Quercus rugosa* Née, *P. ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltdl., *Q. castanea* Née y *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. En conjunto muestran una amplia distribución en altitudes menores a 2500 m; estos resultados concuerdan con el catálogo de plantas vasculares nativas de México (Villaseñor, 2016). Caso contrario sucede con algunas especies alpinas como *Abies hickelii* Flous & Gausseen, *A. religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. y *P. hartwegii* Lindl., las cuales presentan una do-

minancia menor, debido a que su distribución se restringe en zonas frías superiores a 2500 m s.n.m., en donde se manifiesta un mejor desarrollo (Estrada-Contreras et al., 2015).

El índice de mezcla de especies (*Mi*) en la Sierra Madre del Sur presentó una tendencia de mezcla alta, debido a que 68% de los sitios muestreados reflejan una asociación de *P. pseudostrobus* con un mínimo de dos especies de taxones diferentes, dando como resultado una mayor diversidad. En contraste, para el Eje Neovolcánico, que fue la condición con menor grado de mezcla, 70% de los sitios pertenecen a bosques puros de *P. pseudostrobus* o se asocia con una sola especie diferente.

*Pinus pseudostrobus* presenta una distribución geográfica relativamente amplia, lo cual le ha permitido existir en diferentes condiciones ambientales, aunque su desarrollo óptimo sea un rango biogeográfico muy estrecho (2000-2400 m s.n.m. y precipitación de 1000 a 1500 mm), se ha registrado de manera natural (1500-3200 m s.n.m. y precipitación de 550 a 2000 mm), por tal motivo se considera que esta especie se adapta a condiciones de clima templado y semicálido subhúmedo (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014), situación que le ha favorecido para mantener una asociación ecológica con 52 especies (*Pinus* (19), *Quercus* (18), *Abies* (3), *Cupressus* L. (3), *Juniperus* Lemmon (3), *Alnus* Hill (3), *Taxus* (1), *Pseudotsuga* (1) y *Arbutus* L. (1)).

Estas especies se agrupan principalmente en función del rango altitudinal, así como por las condiciones microclimáticas que se generan por las pendientes y exposición del terreno (Walte-Vega et al., 2017). Algunos autores asocian *P. pseudostrobus* con un número menor que lo reportado en el presente estudio. Favela-Lara (1988) menciona una asociación con seis especies de coníferas (*P. devoniana* Lindley, *P. hartwegii*, *P. lawsonii* Roezl ex Gordon, *P. leiophylla*, *P. montezumae* Lamb. y *P. teocote* Schltdl. & Cham.); Perry (1991) con nueve (*P. devoniana*, *P. douglasiana* Martínez, *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. lawsonii*, *P. leiophylla*, *P. maximinoi* H.E. Moore, *P. montezumae*, *P. patula* y *P. pringlei* Shaw); Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) con nueve (*A. religiosa*, *J. deppeana*, *J. flaccida*, *P. cembroides* Zucc., *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *P. montezumae*, *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. y *P. teocote*), y Farjon

y Styles (1997) reportan una asociación con siete especies (*P. cembroides*, *P. devoniana*, *P. douglasiana*, *P. lawsonii*, *P. leiophylla*, *P. pringlei* y *P. tecunumanii* F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J.P. Perry). En conjunto estos autores indican que *P. pseudostrobus* tiene una asociación ecológica con al menos 16 coníferas.

## Conclusiones

El presente estudio constituye un análisis de patrones espaciales de asociación ecológica entre dos subprovincias con distribución dominante de *Pinus pseudostrobus*. Por lo tanto, los resultados demuestran que la asociación compartida de especies determina un elemento clave para comprender cómo las variables biogeográficas (altitud y precipitación) interactúan para formar nichos específicos de carácter local y regional. Esto permitirá tomar decisiones en cuanto a los grupos idóneos para mantener la composición y estructura de las masas forestales, así como para la implementación de estrategias de restauración ecológica.

La selección de especies debe desarrollarse en función de las variables biogeográficas de los sitios de interés, considerando los rangos óptimos para su desarrollo, así como los objetivos principales.

## Contribución de autores

RSG concibió y diseño el estudio, RGC realizó el análisis estadístico y ABC sistematizó y validó los resultados. RSG y RGC contribuyeron con la adquisición e interpretación de los datos. RSG escribió el manuscrito con la ayuda de RGC y ABC. Todos los autores contribuyeron con la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final.

## Financiamiento

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) otorgó becas de posgrado a los autores con clave: 2018-000068-02NACF-12694; 443097; 2019-000002-01NACF-08436.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por las becas de posgrado otorgadas a los autores y a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

## Literatura citada

- Aceves-Rangel, L. D., J. Méndez-González, M. A. García-Aranda y J. A. Nájera-Luna. 2018. Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. Agrociencia 52(7): 1043-1057.
- Aguilera-Reyes, U., V. Sánchez-Cordero, J. Ramírez-Pulido, O. Monroy-Vilchis, G. I. García López y M. Janczur. 2013. Hábitos alimentarios del venado cola blanca *Odocoileus virginianus* (Artiodactyla: Cervidae) en el Parque Natural Sierra Nanchititla, Estado de México. Revista de Biología Tropical 61(1): 243-253. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i1.11059>
- Ávila-Coria, R., R. Villavicencio-García y J. A. Ruiz-Corral. 2014. Distribución potencial de *Pinus herrerae* Martínez en el occidente del estado de Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(24): 92-109. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.322>
- Ávila-Sánchez, P., A. Sánchez-González y C. Catalán-Everástico. 2010. Estructura y composición de la vegetación del Cañón del Zopilote, Guerrero, México. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente 16(2): 119-138. DOI: <http://10.5154/r.rchscfa.2010.02.003>
- Baeza-Guzmán, Y., R. Medel-Ortiz y R. Garibay-Orijel. 2017. Caracterización morfológica y genética de los hongos ectomicorrízicos asociados a bosques de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz. Revista Mexicana de Biodiversidad 88(1): 41-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.027>
- Cambrón-Sandoval, V. H., H. Suzán-Azpiri, C. Sáenz-Romero y N. M. Sánchez-Vargas. 2014. Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. Madera y Bosques 20(1): 47-57. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201175>
- Castillón, E. E., J. R. Arévalo, J. Á. V. Quintanilla, M. M. S. Rodríguez, J. A. Encina-Domínguez, H. G. Rodríguez y C. M. C. Ayala. 2015. Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. The Science of Nature 102(9-10): 59. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3>
- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz, L. Vázquez-Selem, R. Cervantes-Martínez, G. Esquivel-Arriaga, V. Guerra-de la Cruz y P. Z. Fulé. 2016. Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii*

- al norte del estado de Puebla, México. Bosque (Valdivia) 37(2): 389-399. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>
- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez, P. Fulé, L. Yocom, G. Esquivel-Arriaga y E. Jardel-Peláez. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. Bosque (Valdivia) 36(1): 41-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000100005>
- Cisneros-González, D., J. M. Zúñiga-Vásquez y M. Pompa-García. 2018. Actividad del fuego en áreas forestales de México a partir de sensores remotos y su sensibilidad a la sequía. Madera y Bosques 24(3): e2431687. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2018.2431687>
- CONABIO. 1997. Provincias biogeográficas de México, escala 1:4,000,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd. Mx., México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (consultado enero de 2019).
- CONABIO. 2018. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd. Mx., México. <http://www.snib.mx/ejemplares/descarga/> (consultado enero de 2019).
- Córdoba-Chávez, O., R. Medel, G. Mata, R. Castillo y J. Vázquez-Ramírez. 2014. Evaluación de hongos ectomicorrícos del grupo de los basidiomicetos en la zona NE del Cofre de Perote, Veracruz. Madera y Bosques 20(1): 97-106. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201179>
- Cruz-Cárdenas, G., L. López-Mata, J. T. Silva, N. Bernal-Santana, F. Estrada-Godoy y J. A. López-Sandoval. 2016. Potential distribution model of Pinaceae species under climate change scenarios in Michoacán. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente 22(2): 135-148. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Cuervo-Robayo, A. P., O. Téllez-Valdés, M. A. Gómez-Albores, C. S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez y E. Martínez-Meyer. 2014. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. International Journal of Climatology 34(7): 2427-2437. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3848>
- De los Santos-Posadas, H. M., J. R. Valdez-Lazalde y J. M. Torres-Rojo. 2015. Chapter 23: San Pedro El Alto Community Forest, Oaxaca, Mexico. In: Siry, J. P., K. Merry, K. Boston, P. Bettinger, D. L. Grebner y C. Ciesewski (eds.). Forest Plans of North America. Academic Press. Cambridge, USA. Pp. 199-208. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-799936-4.00023-0>
- EncicloVida. 2019. Registros de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en México. EncicloVida-Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd. Mx., México. <http://enciclovida.mx> (consultado febrero de 2019).
- Estrada-Contreras, I., M. Equihua, G. Castillo-Campos y O. Rojas-Soto. 2015. Climate change and effects on vegetation in Veracruz, Mexico: an approach using ecological niche modelling. Acta Botanica Mexicana 112: 73-93. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm112.2015.1090>
- Farjon, A. 2013a. *Pinus pseudostrobus*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42404A2977667. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42404A2977667.en>
- Farjon, A. 2013b. *Abies hickelii*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42286A2969866. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42286A2969866.en>
- Farjon, A. 2013c. *Pinus cembroides*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42350A2974560. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42350A2974560.en>
- Farjon, A. 2013d. *Pinus hartwegii*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42367A2975679. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42367A2975679.en>
- Farjon, A. 2013e. *Pinus herrerae*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42369A2975774. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42369A2975774.en>
- Farjon, A. 2013f. *Pinus lumholtzii*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42377A2976271. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42377A2976271.en>
- Farjon, A. 2013g. *Pinus pringlei*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42403A2977612. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42403A2977612.en>
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotrópica 75: 1-291.
- Favela-Lara, S. 1988. Taxonomy of some Mexican Pines. Thesis of Master of Science. Linacre Collenge Oxford. Oxford, UK. 101 pp.
- Flores-Vásquez, R., M. E. Fuentes-López, J. Quintanar-Olgún y J. C. Tamarit-Urías. 2013. Mecanizado de cuatro especies maderables de roble de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(16): 22-33.

- Fülder, K. 1995. Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen. *Forstarchiv* 66: 149-161.
- García-Aguilar, J. Á., G. Rodríguez-Ortiz y J. Martínez-De la Cruz. 2015. Influencia de variables fisiográficas en la productividad de biomasa aérea en bosques mixtos. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 2(2): 87-98.
- García-Barrios, L. y M. González-Espinosa. 2017. Investigación ecológica participativa como apoyo de procesos de manejo y restauración forestal, agroforestal y silvopastoril en territorios campesinos. Experiencias recientes y retos en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 129-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.022>
- García-De la Cruz, Y., L. A. Olivares-López y J. M. Ramos-Prado. 2013. Estructura y composición arbórea de un fragmento de bosque mesófilo de montaña en el estado de Veracruz. *Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente* 19(1): 91-101. DOI: <http://doi.org/10.5154/rchscfa.2012.03.025>
- García-Espinoza, G., O. A. Aguirre-Calderón, G. Quiñonez-Barraza, E. Alanís-Rodríguez, H. M. De los Santos-Posadas y J. García-Magaña. 2018. Taper and Volume Systems Based on Ratio Equations for *Pinus pseudostrobus* Lindl. in Mexico. *Forests* 9(6): 344. DOI: <http://doi.org/doi:10.3390/f9060344>
- Gardner, A. S., I. M. Maclean y K. J. Gaston. 2019. Climatic predictors of species distributions neglect biophysically meaningful variables. *Diversity and Distributions* 25: 1318-1333. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12939>
- GBIF. 2019. Bases de datos geográficos disponibles para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en México. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org> (consultado febrero de 2019).
- Gernandt, D. S. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): 126-133. DOI: <http://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- González-Méndez, M., F. Cruz-Cobos, G. Quiñonez-Barraza, B. Vargas-Larreta y J. A. Nájera-Luna. 2016. Modelo de crecimiento en altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el estado de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(37): 7-20. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i37.48>
- Gorgonio-Ramírez, M., R. Clark-Tapia, E. Campos, A. Monsalvo-Reyes y C. Alfonso-Corrado. 2017. Diversidad y estructura genética de *Quercus crassifolia* en sitios de manejo forestal y uso local en Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques* 23(2): 85-98. DOI: <http://doi.org/10.21829/myb.2017.2321122>
- Graciano-Ávila, G., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, M. A. González-Tagle, E. J. Treviño-Garza y A. Mora-Olivo. 2017. Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México. *Madera y Bosques* 23(3): 137-146. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2331480>
- Granados-Victorino, R. L., D. Granados-Sánchez y A. Sánchez-González. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques* 21(2): 23-43. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.212443>
- Guerra-De la Cruz, V., F. Islas-Gutiérrez, E. Flores-Ayala, M. Acosta-Mireles, E. Buendía-Rodríguez, F. Carrillo-Anzures y T. Pineda-Ojeda. 2018. Modelos locales altura-diámetro para *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. en Nanacamilpa, Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(51): 133-156. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.407>
- Guerrero-Hernández, R., J. G. González-Gallegos y A. Castro-Castro. 2014. Análisis florístico de un bosque de *Abies* y el bosque mesófilo de montaña adyacente en Juanacatlán, Mascota, Jalisco, México. *Botanical Sciences* 92(4): 541-562. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.119>
- Hawley, C. R. y M. D. Smith. 1982. *Silvicultura práctica*. Editorial Omega. Barcelona, España. 544 pp.
- Hernández-Ramos, J., J. J. García-Magaña, X. García-Cuevas, A. Hernández-Ramos, H. J. Muñoz-Flores y M. Samperio-Jiménez. 2015. Índice de sitio para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en el oriente del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 24-37. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.278>
- Ibarra-Montoya, J. L. y F. M. Huerta-Martínez. 2016. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco, México. *Revista Ambiente y Agua* 11(1): 35-49. DOI: <http://doi.org/10.4136/amb-agua.1536>

- INEGI. 2019. Datos de relieve. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Versión 201906061153. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Cd. Mx., México. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> (consultado abril de 2019).
- Jerome, D. 2017. *Quercus rugosa*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T194227A2305094. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-2.RLTS.T194227A2305094.en>
- Jerome, D. 2018a. *Quercus crassipes*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T78812520A78812523. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T78812520A78812523.en>
- Jerome, D. 2018b. *Quercus obtusata*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T194208A2304136. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T194208A2304136.en>
- Juárez-Ortiz, Y., A. García-Aragón y D. Giménez-García. 2018. Melolóntidos edafícolas asociados a un Bosque Templado con aprovechamiento forestal en Tlaxco, Tlaxcala, México. *Southwestern Entomologist* 43(3): 773-781. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.043.0322>
- Lemus-Cervantes, S., S. Vázquez-Cervantes y M. Rodríguez-Ramírez. 2015. Desarrollo de un proyecto de ecoturismo rural en Potrerillo, Sierra de Zongolica, Veracruz, México. V Congreso Latinoamericano de Agroecología-Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/57955> (consultado septiembre de 2019).
- Lenormand, M., G. Papuga, O. Argagnon, M. Soubeyrand, G. De Barros, S. Alleaume y S. Luque. 2019. Biogeographical network analysis of plant species distribution in the Mediterranean region. *Ecology and Evolution* 9(1): 237-250. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.4718>
- López-Escobar, N. F., A. Gómez-Guerrero, A. Velázquez-Martínez, A. M. Fierros-González, L. U. Castruita-Esparza y J. A. Vera-Castillo. 2018. Reservorios y dinámica de nutrientes en dos rodales bajo aprovechamiento de *Pinus montezumae* Lamb. en Tlaxcala, México. *Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente* 24(1): 115-129. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.055>
- López-Hernández, J. A., Ó. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. C. Monarrez-Gonzalez, M. A. González-Tagle y J. Jiménez-Pérez. 2017. Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y Bosques* 23(1): 39-51. DOI: <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2311518>
- López-Sandoval, J. A., L. López-Mata, G. Cruz-Cárdenas, H. Vibrans, O. Vargas y M. Martínez. 2015. Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences* 93(4): 755-764. DOI: <https://doi.org/10.17129/botscl.192>
- López-Upton, J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A. (ed.). *Tropical Tree-Seed Manual*. United States Department of Agriculture-Forest Service. Washington, D.C., USA. 637 pp.
- Marlés-Magre, J., T. Valor-Ivars, B. Claramunt-López, D. R. Pérez-Salicrup, R. Maneja-Zaragoza, S. Sánchez-Mateo y M. Boada-Juncá. 2015. Análisis dendroclimático de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. *Investigaciones geográficas* (88): 19-32. DOI: <https://doi.org/dx.doi.org/10.14350/rig.43338>
- Martínez-Ortega, R. M., L. C. Tuya-Pendás, M. Martínez-Ortega, A. Pérez-Abreu y A. M. Cánovas. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas* 8(2): 1-19.
- Méndez-Osorio, C., C. A. Mora-Donjuán, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, O. A. Aguirre-Calderón y M. A. Pequeño-Ledezma. 2018. Fitodiversidad y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(50): 35-53. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.236>
- Morales-Saldaña, S., E. Martínez-Ambriz y S. Valencia. 2015. Estudio florístico y de la vegetación del municipio de Buenavista de Cuéllar, Guerrero, México. *Botanical Sciences* 93(1): 73-95. DOI: <http://doi.org/10.17129/botscl.234>
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76(2): 207-252. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2005.002.303>
- Morrone, J. J. 2017. Biogeographic regionalization of the Sierra Madre del Sur province, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(3): 710-714. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.07.012>
- Munguía-Lino, G., A. Castro-Castro y A. Rodríguez. 2015. Nota sobre el redescubrimiento de *Tigridia hintonii* (Tigridieae: Iridaceae) en el estado de Guerrero, México. *Acta Botanica Mexicana* (113): 75-85. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm113.2015.1096>

- Ortiz-Martínez, A. y D. Gernandt. 2016. Species diversity and plastid DNA haplotype distributions of *Pinus* subsection Australes (Pinaceae) in Guerrero and Oaxaca. TIP 19(2): 92-101. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recqb.2016.06.002>
- Paz-Pellat, F., R. Torres-Alamilla y A. Velázquez-Rodríguez. 2017. Estado actual del conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2017-Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono-Universidad Autónoma del Estado de México-Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, México. 660 pp. [http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/Libro\\_Merida\\_2014\\_PMC\\_ISBN-web.pdf](http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/Libro_Merida_2014_PMC_ISBN-web.pdf) (consultado septiembre de 2019).
- Pellissier, L., C. Albouy, J. Bascompte, N. Farwig, C. Graham, M. Loreau, M. A. Magliañesi, C. J. Melián, C. Pitteloud, T. Roslin, R. Rohr, S. Saavedra, W. Thuiller, G. Woodward, N. E. Zimmermann y D. Gravel. 2018. Comparing species interaction networks along environmental gradients. *Biological Reviews* 93(2): 785-800. DOI: <https://doi.org/10.1111/brv.12366>
- Perry, J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, USA. 231 pp.
- Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 75(3): 305-324. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/75.3.305>
- QGIS Development Team. 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org> (consultado marzo de 2019).
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/> (consultado febrero de 2019).
- Ramírez-Albores, J. E., L. León-Paniagua y A. G. Navarro-Sigüenza. 2014. Mamíferos silvestres del Parque Ecoturístico Piedra Canteada y alrededores, Tlaxcala, México; con notas sobre algunos registros notables para el área. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1): 48-61. DOI: <http://doi.org/10.7550/rmb.30485>
- Ramírez-García, E. O., J. Márquez-Ramírez, H. Cruz-Jiménez y G. Arguelles-Sangabriel. 2009. Germinación de semillas de dos cosechas de *Pinus oaxacana* Mirov. procedentes de los molinos, Veracruz, México. *Forestal veracruzana* 11(2): 33-36.
- Ramos-Dorantes, D. B., J. L. Villaseñor, E. Ortiz y D. S. Gernandt. 2017. Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(1): 215-223. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028>
- Ríos-Altamirano, A., C. Alfonso-Corral, V. Aguirre-Hidalgo, G. Ángeles-Pérez, M. M. Mendoza-Díaz, V. Rodríguez-Rivera y R. Clark-Tapia. 2016. Abundancia y distribución del género *Pinus* en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques* 22(3): 61-74. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231457>
- Ríos-Camey, J. M., O. A. Aguirre-Calderón, B. López-López y B. Calleja-Peláez. 2019. Producción de oxígeno en *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede. en la región montaña del estado de Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias CIBA* 8(15): 52-71. DOI: <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i15.83>
- Rivera-Hernández, J. E., M. D. J. Cházaro-Basañez, A. F. Vargas-Rueda, F. Ramón-Farías, H. Oliva-Rivera y G. Alcántara-Salinas. 2015. Nuevas adiciones para la flora de Veracruz. *Acta Botanica Mexicana* 112: 45-65. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm112.2015.1088>
- Rojas-Zenteno, E. C., M. Orozco-Villa, S. Romero-Rangel y R. Montoya-Ayala. 2016. Vegetación y flora del municipio de Temascaltepec, Estado de México, México. *Polibotánica* (42): 43-89. DOI: <http://10.18387/polibotanica.42.3>
- Sáenz-Romero, C., E. G. Rehfeldt, J. M. Ortega-Rodríguez y M. C. Marín-Togo. 2013. *Pinus pseudostrobus* (pino caniz). Distribución geográfica del hábitat climático, escala: 1:1,000,000, edición 1. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Unidad San Juanito Itzícuaro. Morelia, México. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/biodiv/distpot/dpplant/dppconifph/pps036dghgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/biodiv/distpot/dpplant/dppconifph/pps036dghgw) (consultado agosto de 2019).
- Salazar-Tortosa, D., B. Saladin, N. E. Zimmermann, J. Castro y R. R. de Casas. 2019. The evolution of seed dispersal is associated with environmental heterogeneity in *Pinus*. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 41: 125464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2019.125464>
- Salgado-Terrones, O., M. Borda-Niño y E. Ceccon. 2017. Uso y disponibilidad de leña en la región de La Montaña en

- el estado de Guerrero y sus implicaciones en la unidad ambiental. *Madera y Bosques* 23(3): 121-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2017.2331473>
- Santiago-Pérez, A. L., A. Ayón-Escobedo, V. C. Rosas-Espinoza, F. A. Rodríguez-Zaragoza y S. L. Toledo-González. 2014. Estructura del bosque templado de galería en la sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24): 144-159. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.326>
- Santibañez-Andrade, G., S. Castillo-Argüero y Y. Martínez-Orea. 2015. Evaluación del estado de conservación de la vegetación de los bosques de una cuenca heterogénea del Valle de México. *Bosque (Valdivia)* 36(2): 299-313. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000200015>
- SASGIS. 2019. SASPlanet Software. Versión 181221. <http://www.sasgis.org> (consultado abril de 2019).
- SNIB. 2019. Registros de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en México. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Cd. Mx., México. <http://snib.mx> (consultado marzo de 2019).
- Sorensen, M., J. Kollmann y M. Gardner. 2013. *Abies guatemalensis*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T42285A2969774. DOI: <http://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42285A2969774.en>
- Tamarit-Urias, J. C., E. Rojas-Díaz, G. Quiñonez-Barraz, C. Ordoñez-Prado y J. C. Monárrez-González. 2017. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Quercus* sp. en bosques bajo manejo de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(40): 69-88. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.37>
- Uribe-Salas, D., M. L. España-Boquera y A. Torres-Miranda. 2019. Aspectos biogeográficos y ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae) en Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* (126): e1342. DOI: <http://doi.org/10.21829/abm126.2019.1342>
- Vásquez-Bautista, N., F. J. Zamudio-Sánchez, A. A. Alvarado-Segura y J. L. Romo-Lozano. 2016. Modelos biométricos forestales en Hidalgo, México: estado del arte. *Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente* 22(3): 351-367. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.09.043>
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, L. Vasquez-Selem, D. W. Stahle, P. Z. Fulé, L. L. Yocom y J. A. Ruiz-Corral. 2015. Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía* 2015(86): 5-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.14350/rig.42003>
- Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559-902. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Viveros-Viveros, H., C. Sáenz-Romero, J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39(5): 575-587.
- Walte-Vega, J. K., A. García-Romero, L. L. Manzo-Delgado y J. López-García. 2017. Factores de distribución de las comunidades del bosque húmedo de montaña: Volcán Cofre de Perote, México. *Bosque (Valdivia)* 38(1): 29-39. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000100004>
- Wenzell, K. y L. Kenny. 2015. *Quercus castanea*. The IUCN Red List of Threatened Species. e.T194073A2296266. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T194073A2296266.en>
- Zhao, Y., H. Cao, W. Xu, G. Chen, J. Lian, Y. Du y K. Ma. 2018. Contributions of precipitation and temperature to the large scale geographic distribution of fleshy-fruited plant species: Growth form matters. *Scientific reports* 8(1): 17017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35436-x>

**Apéndice:** Lista de especies asociadas con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en las subprovincias Sierra Madre del Sur y Eje Neovolcánico, con sus respectivos abreviaciones y nombres científicos.

| Abreviatura | Nombre científico                           | Autor                                 | Abreviatura | Nombre científico            | Autor      |
|-------------|---|---------------------------------------|-------------|------------------------------|------------|
| AbGu        | <i>Abies guatemalensis</i>                  | Rehder                                | QuGlab      | <i>Quercus glabrescens</i>   | Benth.     |
| AbHi        | <i>Abies hickelii</i>                       | Flous & GausSEN                       | QuLa        | <i>Quercus laurina</i>       | Bonpl.     |
| AbRe        | <i>Abies religiosa</i>                      | (Kunth) Schltdl. & Cham.              | QuMag       | <i>Quercus magnoliifolia</i> | Née        |
| AlAc        | <i>Alnus acuminata</i>                      | Kunth                                 | QuMa        | <i>Quercus martinezii</i>    | C.H. Mull. |
| AlFi        | <i>Alnus firmifolia</i>                     | Fernald                               | QuOb        | <i>Quercus obtusata</i>      | Bonpl.     |
| AlJo        | <i>Alnus jorullensis</i>                    | Kunth                                 | QuPe        | <i>Quercus peduncularis</i>  | Née        |
| ArXa        | <i>Arbutus xalapensis</i>                   | Kunth                                 | QuRu        | <i>Quercus rugosa</i>        | Née        |
| CuLi        | <i>Cupressus lindleyi</i>                   | Klotzsch ex Endl.                     | QuSc        | <i>Quercus scytophylla</i>   | Liebm.     |
| CuLu        | <i>Cupressus lusitanica</i>                 | Mill.                                 |             |                              |            |
| PiAy        | <i>Pinus ayacahuite</i>                     | Ehrenb. ex Schltdl.                   |             |                              |            |
| PiCe        | <i>Pinus cembroides</i>                     | Zucc.                                 |             |                              |            |
| PiDe        | <i>Pinus devoniana</i>                      | Lindl.                                |             |                              |            |
| PiDo        | <i>Pinus douglasiana</i>                    | Martínez                              |             |                              |            |
| PiHa        | <i>Pinus hartwegii</i>                      | Lindl.                                |             |                              |            |
| PiHe        | <i>Pinus herrerae</i>                       | Martínez                              |             |                              |            |
| PiLa        | <i>Pinus lawsonii</i>                       | Roezl ex Gordon                       |             |                              |            |
| PiLe        | <i>Pinus leiophylla</i>                     | Schiede ex Schltdl. & Cham.           |             |                              |            |
| PiLu        | <i>Pinus lumholtzii</i>                     | B.L. Rob. & Fernald                   |             |                              |            |
| PiMa        | <i>Pinus maximinoi</i>                      | H.E. Moore                            |             |                              |            |
| PiMo        | <i>Pinus montezumae</i>                     | Lamb.                                 |             |                              |            |
| PiOa        | <i>Pinus oaxacana</i>                       | Mirov.                                |             |                              |            |
| PiOo        | <i>Pinus oocarpa</i>                        | Schiede ex Schltdl.                   |             |                              |            |
| PiPa        | <i>Pinus patula</i>                         | Schiede ex Schltdl. & Cham            |             |                              |            |
| PiPr        | <i>Pinus pringlei</i>                       | Shaw                                  |             |                              |            |
| PiRu        | <i>Pinus rufa</i>                           | Endl.                                 |             |                              |            |
| PiStCh      | <i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i> | Martínez                              |             |                              |            |
| PiTec       | <i>Pinus tecunumanii</i>                    | F. Schwerdtf. ex Eguiluz & J.P. Perry |             |                              |            |
| PiTeo       | <i>Pinus teocote</i>                        | Schiede ex Schltdl. & Cham.           |             |                              |            |
| PsMe        | <i>Pseudotsuga menziesii</i>                | (Mirb.) Franco                        |             |                              |            |
| QuCan       | <i>Quercus candicans</i>                    | Née                                   |             |                              |            |
| QuCa        | <i>Quercus castanea</i>                     | Née                                   |             |                              |            |
| QuCo        | <i>Quercus conspersa</i>                    | Benth.                                |             |                              |            |
| QuCra       | <i>Quercus crassifolia</i>                  | Bonpl.                                |             |                              |            |
| QuCrp       | <i>Quercus crassipes</i>                    | Bonpl.                                |             |                              |            |
| QuDy        | <i>Quercus dysophylla</i>                   | Benth.                                |             |                              |            |
| QuCri       | <i>Quercus crispifolia</i>                  | Trel.                                 |             |                              |            |
| QuEl        | <i>Quercus elliptica</i>                    | Née                                   |             |                              |            |
| QuGlau      | <i>Quercus glaucescens</i>                  | Bonpl.                                |             |                              |            |