



## Afinidades en la flora genérica de piñonares del norte y centro de México: un análisis fenético

### Floristic affinities of the generic flora of pinyon pines of northern and central Mexico: a phenetic analysis

Mario Luna-Cavazos\*, Angélica Romero-Manzanares y Edmundo García-Moya

Botánica, Colegio de Postgraduados, Km. 35.5 carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

\*Correspondencia: mluna@colpos.mx

**Resumen.** Mediante un análisis de clasificación fenética, se discuten las afinidades en la flora genérica de los piñonares mexicanos. El estudio se sustentó en el registro de 438 géneros de plantas vasculares de 32 piñonares mexicanos caracterizados por distintas especies como *Pinus cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii*, *P. monophylla*, *P. quadrifolia*, *P. nelsonii*, *P. culminicola* y *P. lagunae*. Se elaboró una matriz de datos presencia/ausencia de los géneros en los 32 piñonares, cada uno de los cuales se consideró como una Unidad Geográfica Operativa. Se estimaron 2 índices de semejanza entre las comunidades piñoneras, y después se agruparon mediante el procedimiento UPGMA; los grupos formados se representaron en un dendrograma. Los piñonares se relacionaron, en general, por cercanía geográfica y por su localización en una misma provincia fisiográfica. Los piñonares de Baja California caracterizados por *P. quadrifolia* formaron un grupo compacto, lo mismo que aquellos de *P. cembroides* de Chihuahua y de *P. maximartinezii* de Zacatecas. En el grupo de San Luis Potosí se conjuntaron comunidades de *P. cembroides* y de *P. johannis*; mientras que las propias de *P. nelsonii* no formaron un grupo coherente; los piñonares del suroeste de Coahuila están muy relacionados, pero tienen diferencias con los de más al norte de este estado. El piñonar de *P. culminicola* de Nuevo León es el más diferente de las otras comunidades de piñoneros.

Palabras clave: conglomerados, fenética, flora, México, piñonares.

**Abstract.** Using phenetic classification, we analyze the similarity of the generic flora of Mexican pinyon pine forests. Methods included records of 438 genera of vascular plants from 32 communities of pinyon pines such as *Pinus cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii*, *P. monophylla*, *P. quadrifolia*, *P. nelsonii*, *P. culminicola*, and *P. lagunae*. A matrix of presence/absence of genera in 32 communities was performed, and 2 indices of similarity between communities were estimated; we then applied UPGMA to classify the communities in groups, and finally these groups were represented by a dendrogram. In general, the communities were grouped by geographic area and by pinyon pine species, as well as location in the same physiographic province. It was observed that pinyon pine communities of Baja California with *P. quadrifolia* formed a close group, as well as the *P. cembroides* communities of Chihuahua and *P. maximartinezii* of Zacatecas. One group of San Luis Potosí included *P. cembroides* and *P. johannis*. *Pinus nelsonii* communities did not form a coherent group. Those of southwestern Coahuila were closely related, but they were different from the pinyon pines in the north of this state. *Pinus culminicola* communities of Nuevo León were the most different with respect to others.

Key words: Clusters, phenetic, flora, Mexico, pinyon pines.

### Introducción

México es un centro de diversificación de piñoneros (*Pinus* subsecc. *Cembroides* y subsecc. *Nelsoniae*), los cuales habitan en comunidades monoespecíficas o asociadas que se denominan piñonares. El hábitat que los caracteriza se restringe a las montañas de climas secos

en transición con otras comunidades vegetales, como pastizales, matorrales xerófilos y encinares (Rzedowski, 1978). En México, *Pinus cembroides* Zucc. es la especie principal de piñoneros, por la amplitud de distribución geográfica sobre el altiplano del norte y centro del país y por su importancia económica.

Existen diversos estudios florísticos de las comunidades de piñonares (Passini y Pinel, 1989; García y González, 1991; González et al., 1993) enfocados a la elaboración de

catálogos de especies. También se han efectuado análisis cuantitativos (Hernández y García, 1985) para calcular índices de semejanza florística entre algunos piñonares de San Luis Potosí, que indicaron que no existen diferencias florísticas significativas entre esos piñonares. Passini (1982) mostró mediante análisis multivariable la semejanza entre los bosques de *Pinus cembroides* de distintas unidades fisiográficas. Romero (2001) comparó la composición de especies acompañantes en piñonares de *P. cembroides* y de *P. johannis* M.-F. Robert del altiplano mexicano con el uso de clasificación y ordenación; otros autores han encontrado semejanzas florísticas entre los piñonares de *P. cembroides* y *P. johannis* (Passini, 1985 b, 1994; Aldrete y Aguirre, 1982).

El análisis de la semejanza florística entre comunidades es importante para examinar el nivel de aislamiento entre localidades individuales (McCoy y Heck, 1987). En fitogeografía, uno de los propósitos principales del análisis florístico es la identificación y clasificación de los elementos florísticos y de las áreas florísticas (McLaughlin y Bowers, 1990); por ello, las técnicas numéricas o cuantitativas proporcionan métodos objetivos, insesgados y repetibles para el análisis de datos fitogeográficos (McLaughlin, 1994).

El análisis de agrupamiento (*cluster analysis*) es un procedimiento apropiado para el estudio fitogeográfico de comunidades. Así, Acosta (2004) usó este método para evaluar las afinidades florísticas entre bosques mesófilos de montaña mexicanos y encontró agrupamientos heterogéneos entre bosques de diferentes provincias fitogeográficas. Sánchez et al. (2005) analizaron mediante agrupamiento y otros métodos multivariados la semejanza florística entre diferentes comunidades de bosque de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. et Schltdl, de la Faja Volcánica Transmexicana y registraron una mayor semejanza florística entre comunidades de oyamel geográficamente cercanas. Perrin et al. (2006) emplearon esta técnica de análisis para clasificar los bosques de Irlanda. Poulos et al. (2007) la usaron junto con sensores remotos para clasificar la vegetación y estructurar programas de manejo en bosques del oeste de Texas. Como puede observarse, los métodos numéricos son un medio para analizar las descripciones de sitios y la relación entre ellos, con base en la composición estructural y florística de comunidades vegetales (Hakes, 1994) y tienen una importante aplicación en biología de la conservación, pues una completa y confiable clasificación de elementos florísticos y de áreas florísticas ayudaría a definir objetivos y prioridades de conservación (McLaughlin, 1994).

El objetivo de este estudio es analizar mediante métodos de clasificación la semejanza en la flora genérica de piñonares mexicanos y describir tendencias en la

fitogeografía de estas comunidades vegetales.

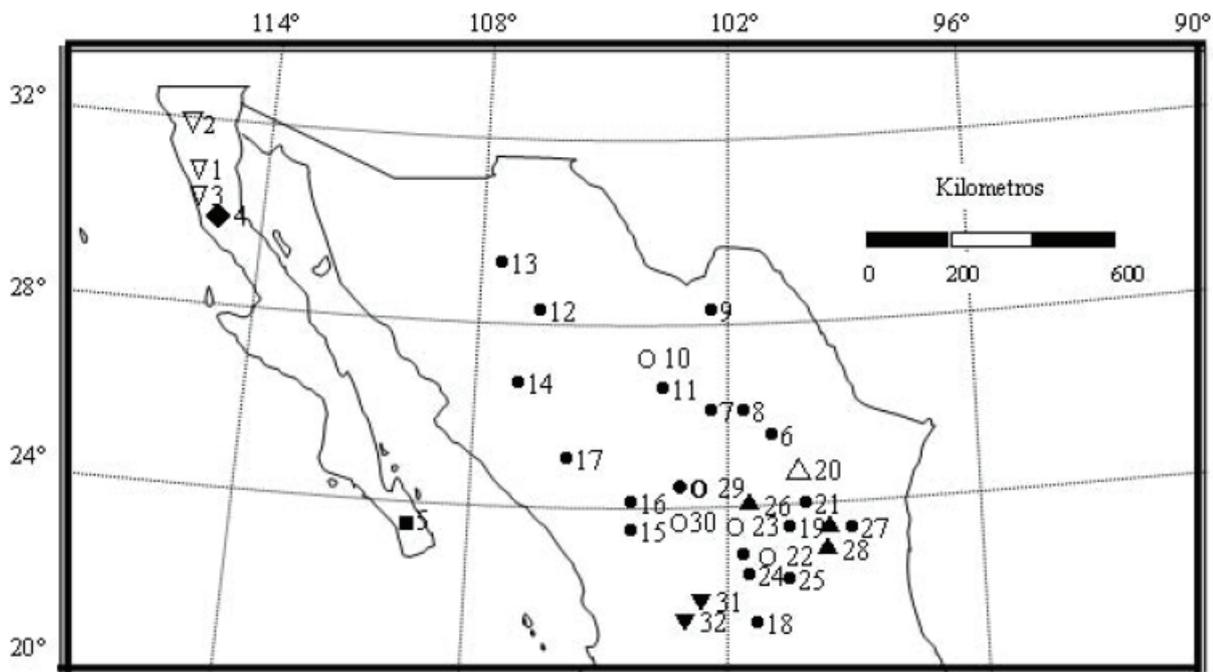
## Materiales y métodos

La comparación florística de los piñonares que aquí se consideran se basa en el registro de 438 géneros de plantas vasculares que se listan en catálogos florísticos de piñonares dominados por *Pinus cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* Rzedowski, *P. monophylla* Torr., *P. quadrifolia* Sudw., *P. nelsonii* Shaw., *P. culminicola* Andresen et Beaman y *P. lagunae* M.-F. Passini, mediante un análisis de agrupamiento.

La ubicación y descripción físico-biótica de las 32 comunidades piñoneras mexicanas estudiadas se presentan en la Figura 1 y en el Apéndice 1; éstas abarcan un área representativa de la distribución de los piñonares en México; existen piñonares más al sur del área de estudio (hasta 18° N), pero no fueron incluidos en el análisis por carecer de datos florísticos. En este análisis cada piñonar se consideró como una unidad geográfica operativa, UGO (Crovello, 1981).

La base de datos se elaboró a partir de los listados florísticos que se citan en los trabajos de Basañez (1983), Pinkava (1984), Passini (1985a, 1994), Hernández (1985), Passini y Pinel (1989), Suzán (1990), García y González (1991), González et al. (1993), Peinado et al. (1994), Villarreal (1994), Reyes et al. (1996), González (1998), Romero (2001) y colectas efectuadas por los autores de este estudio en piñonares de San Luis Potosí. Con base en el número total de géneros registrados en las UGO, se elaboró una matriz de presencia/ausencia para clasificar y analizar la semejanza florística de los piñonares. La matriz de datos consiste de 32 UGO correspondientes con las localidades mencionadas en el Apéndice y 438 géneros registrados en dichas comunidades. En un segundo análisis se eliminaron los géneros registrados una sola vez así como *Pinus* por ser común a todas las localidades; este segundo análisis se efectuó con una matriz de datos de 32 UGO y 289 taxones.

El análisis de las afinidades florísticas entre las 32 UGO se inició con la estimación de 2 índices de semejanza (Sorensen y Jaccard). Ya que los listados florísticos fueron recopilados en diferente espacio y tiempo, se estimaron los índices de semejanza mencionados para confrontar la coincidencia de los resultados (Hubálek, 1982; McLaughlin, 1994). Con base en los valores de semejanza entre las UGO se formaron los grupos mediante el método de promedio de grupo no ponderado usando la media aritmética (UPGMA, por sus siglas en inglés) y después se representaron en un dendrograma. Este análisis se realizó con el programa PC-ORD versión



**Figura 1.** Ubicación de los piñonares de estudio. *Pinus cembroides* (●), *P. johannis* (○), *P. maximartinezii* (▼), *P. monophylla* (◆), *P. quadrifolia* (▽), *P. nelsonii* (▲), *P. culminicola* (△), *P. lagunae* (■).

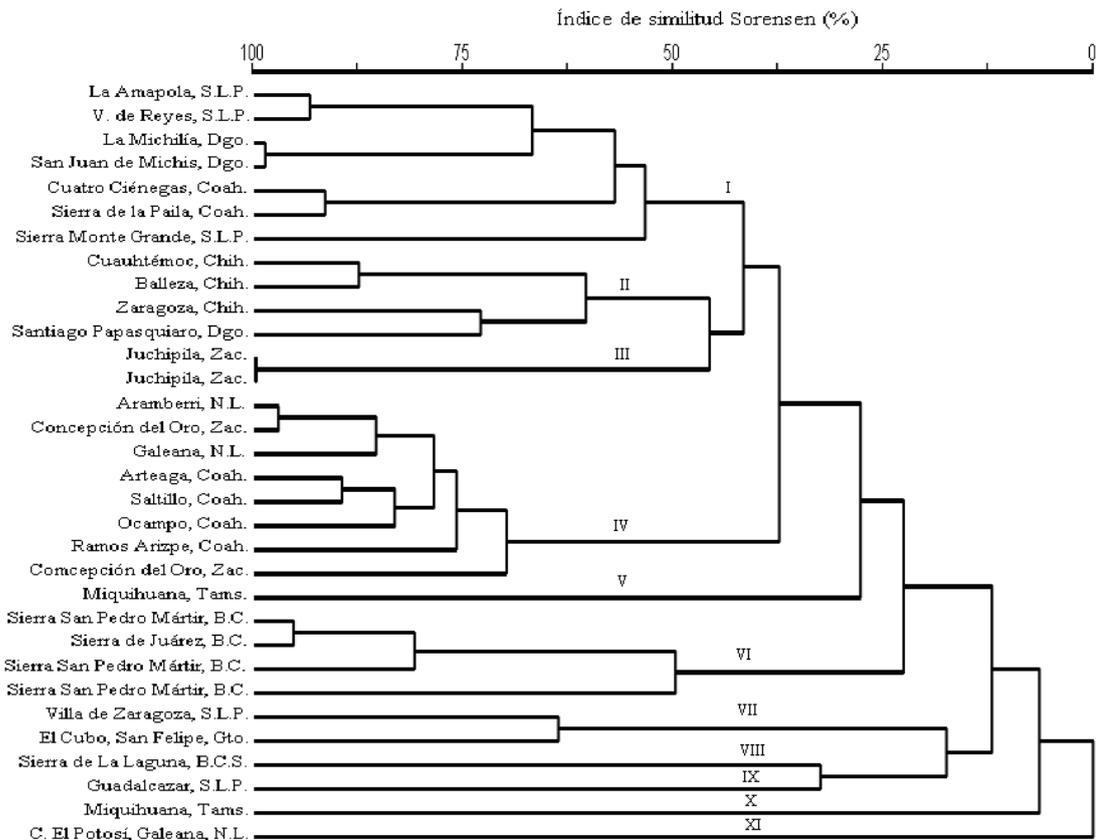
4 (McCune y Mefford, 1999).

**Resultados**

La Figura 2 muestra el dendrograma resultante con el índice de Sorensen. Con el propósito de explicar la semejanza entre las comunidades, se dividieron los grupos (G) en conjuntos (C) con base en un valor empírico del 50% de semejanza. Así, el G I puede dividirse en 3 conjuntos; el C1 está formado por piñonares de San Luis Potosí localizados en La Amapola y Villa de Reyes del suroeste del estado caracterizados por *P. cembroides*, y con masas forestales de *P. johannis* en La Amapola; el C2 incluye piñonares de La Michilía, Durango, representados por *P. cembroides*; el C3 está integrado por comunidades de las regiones de Cuatro Ciénegas y sierra de la Paila, Coahuila, dominadas por *P. johannis* y *P. cembroides*, respectivamente; en este conjunto se une el piñonar de la sierra de Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí con predominio de *P. johannis*. El G II incluye comunidades de la sierra Madre Occidental, pertenecientes a Chihuahua y Durango, representadas por *P. cembroides*. El G III está conformado por las 2 comunidades de *P. maximartinezii* propias de Juchipila, Zacatecas. El G IV es el que mostró una mayor semejanza entre las comunidades que lo

conforman y se dividió en 2 conjuntos; el primero incluye comunidades de Aramberri y Galeana, Nuevo León, junto con Concepción del Oro, Zacatecas y el segundo, piñonares de Arteaga, Saltillo y Ocampo, Coahuila, todos ellos dominados por *P. cembroides*. Cercanos a este conjunto se ubican los piñonares de Ramos Arizpe, Coahuila, caracterizado por *P. cembroides*, y otro de Concepción del Oro, Zacatecas, típico de *P. johannis*. El G V sólo incluye una comunidad de *P. nelsonii* de Miquihuana, Tamaulipas. El G VI incluye las 4 comunidades de Baja California, de las sierras de San Pedro Mártir y la de Juárez; 3 de ellas, que forman el conjunto mayor, están caracterizadas por *P. quadrifolia*, mientras que el otro conjunto está formado por una comunidad dominada por *P. monophylla*. El G VII está formado por 2 comunidades de *P. cembroides*, Villa de Zaragoza, ubicada al sur de San Luis Potosí, y San Felipe, al norte de Guanajuato. Los G VIII, IX, X y XI, incluyen cada uno sólo una comunidad piñonera; el G VIII está caracterizado por *P. lagunae*, de la sierra de la Laguna, Baja California Sur; el G IX por *P. nelsonii* de Guadalcazar, San Luis Potosí; G X por *P. nelsonii* de Miquihuana, Tamaulipas y el G XI por *P. culminicola*, del cerro Potosí, Galeana, Nuevo León, todos ellos con niveles de semejanza bajos en relación con los otros grupos de piñonares.

En los agrupamientos obtenidos con el índice de



**Figura 2.** Semejanza florística de las 32 comunidades piñoneras con el uso del coeficiente de Sorensen y 438 géneros.

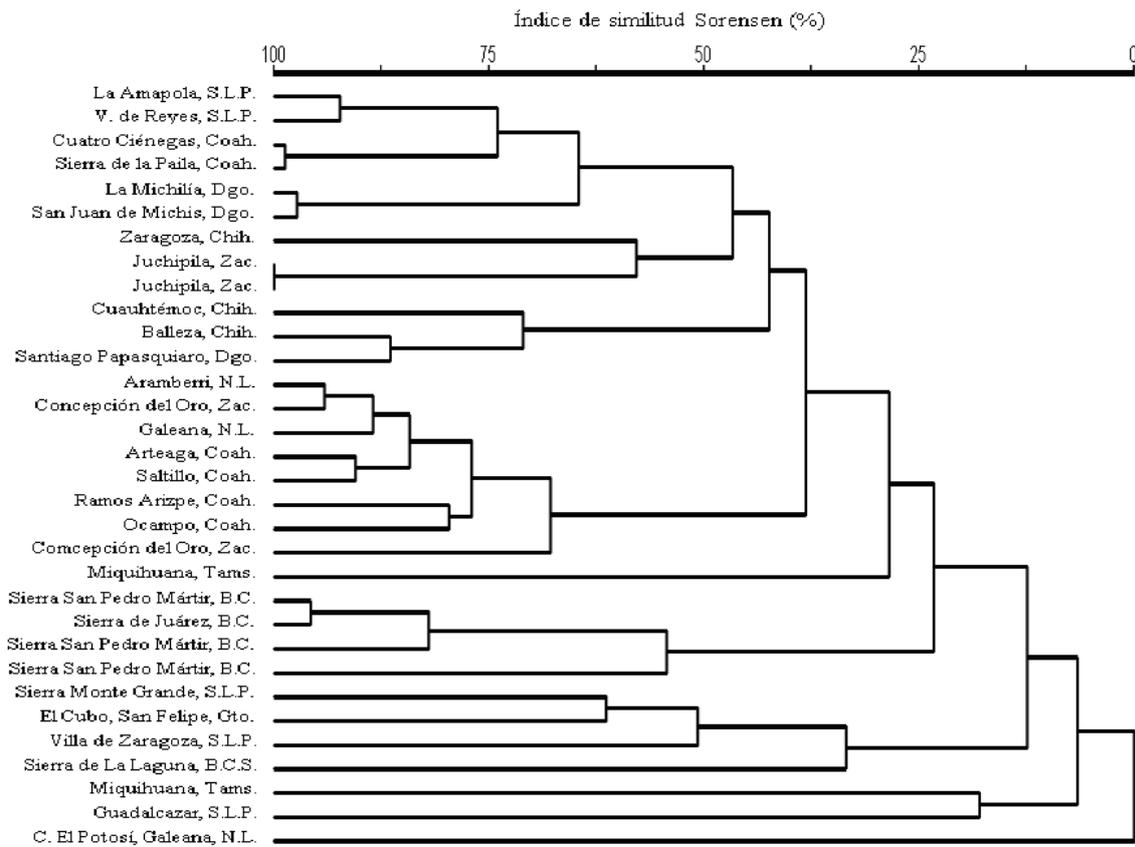
Jaccard (dendrograma no mostrado pero disponible), la posición de las OGU es análoga al dendrograma derivado del índice de Sorensen. La figura 3 muestra la semejanza entre las comunidades cuando se usó el índice de Sorensen y los 289 géneros. Los resultados son muy parecidos al dendrograma con el total de géneros, las diferencias incluyen sólo el cambio de posición del piñonar de la sierra de Monte Grande, San Luis Potosí, el cual se integra con las UGO Villa de Zaragoza, San Luis Potosí y San Felipe, Guanajuato y el piñonar de Zaragoza, Chihuahua, se une con los de Juchipila, Zacatecas. El análisis con la matriz de 289 géneros y el coeficiente de Jaccard (dendrograma no mostrado pero disponible) produjo un agrupamiento de las UGO idéntico al obtenido con el índice de Sorensen.

## Discusión

Los agrupamientos son consistentes en los distintos análisis, por lo que consideramos que son confiables para

la interpretación de las afinidades florísticas entre los piñonares estudiados. El piñonar de *P. culminicola* resultó el más disímulo en relación con las otras comunidades quizá por efecto de micrositio. Esta comunidad, ubicada en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León y localizada en la región de la sierra Madre Oriental (Cuanalo et al., 1989), se diferencia de otros piñonares de esta área (Aramberri, Galeana, Arteaga) por la distribución altitudinal en que se encuentra, 3500 m snm, diferente a las comunidades piñoneras mencionadas, dominadas por *P. cembroides* y localizadas a casi 2000 metros menos de altitud. Es muy probable que la baja temperatura, con un promedio anual de 3.5° C, y alta precipitación (García y González, 1991) influya de manera determinante en la flora de la comunidad de *P. culminicola*. También, García y González (1991), mencionan que el piñonar de *Pinus culminicola* del Cerro Potosí, Nuevo León incluye un alto porcentaje de taxones endémicos, lo cual explica la poca semejanza con la flora de otros piñonares.

Las comunidades de Cuatro Ciénegas y sierra de la



**Figura 3.** Semejanza florística de las 32 comunidades piñoneras con el uso del coeficiente de Sorensen y 289 géneros.

Paila, Coahuila dominadas por *P. johannis* y *P. cembroides*, se agruparon con piñonares de San Luis Potosí y Durango a un nivel de semejanza bajo; es probable que las diferencias encontradas entre estas comunidades coahuilenses y los otros piñonares, puedan atribuirse al aislamiento geográfico, tipo refugio de montañas dentro de una zona desértica que ha ocasionado un alto endemismo en la zona. Las comunidades piñoneras aquí mencionadas pertenecen a la Provincia del Altiplano Mexicano (Morrone et al., 2002; Morrone, 2005) al igual que otras de Coahuila y San Luis Potosí, pero ubicadas en diferentes subregiones que presentan condiciones de clima y suelo distintos (Cuanalo et al., 1989), lo cual probablemente determina una composición florística propia de estos piñonares. Por otro lado, Pinkava (1984) menciona que la flora de la región de Cuatro Ciénegas, Coahuila, es particular por presentar taxones nativos de esta región, algunas de ellas propias del piñonar-encinar allí localizado y, Villarreal (1994) afirma la existencia de diversos taxones endémicos en la sierra de la Paila.

Los piñonares de *P. nelsonii* mostraron una semejanza

florística reducida con los otros piñonares. De acuerdo con Suzán (1987), las comunidades de *P. nelsonii* tienen distribución restringida al noreste de México, en zonas semiáridas y frías, en laderas de orientación sur, a lo largo de arroyos, en poblaciones dispersas de la sierra Madre Oriental, localizadas en el sur de Coahuila, sur de Nuevo León, San Luis Potosí y el occidente de Tamaulipas; en algunos sitios *P. nelsonii* puede encontrarse asociado con piñonares de *P. cembroides* (Perry, 1991). Suzán (1990), empleó agrupamientos y componentes principales para analizar la estructura y composición botánica de sitios con bosque de *Pinus nelsonii* en Tamaulipas, y observó que esos sitios eran muy parecidos en su flora. También, Hernández y García (1985), encontraron alta semejanza florística entre algunas comunidades de *P. nelsonii* y *P. cembroides* ubicadas en áreas cercanas. Lo anterior coincide parcialmente con nuestros resultados, pues las tres comunidades de *P. nelsonii* aquí estudiadas no formaron un grupo consistente, ni se asemejan estrechamente con otros piñonares, quizá debido a factores climáticos influidos por la latitud y longitud respecto a los piñonares del occidente

de México, y respecto a comunidades cercanas de *P. cembroides*, las diferencias pueden deberse a variaciones en las condiciones del microclima. Debe ser mencionado que en nuestros análisis al reducir el número de géneros (Fig. 3), 2 comunidades de *P. nelsonii* se unieron más estrechamente, lo cual confirma los resultados de Suzán (1990).

Rzedowski (1978) menciona que los piñonares de *P. cembroides* son los de más amplia distribución en México. Estas comunidades, por lo general, se encuentran bajo condiciones de clima seco, pero influidas por distintas condiciones microambientales que quizá determinan algunas diferencias en la composición florística de esos piñonares de *P. cembroides*, de allí su posición en distintos grupos en los dendrogramas. Passini (1983) indica que las especies más frecuentes en las comunidades de *Pinus cembroides* del oeste de México son diferentes de aquellas ubicadas en el este, afirmación que sostenemos dada la separación de los piñonares de la sierra Madre Occidental (G II Durango y Chihuahua, Fig. 2) de aquellos pertenecientes a G I de San Luis Potosí y G IV (Nuevo León y Coahuila), propios de la sierra Madre Oriental. De acuerdo con Ferrusquía-Villafranca (1993), la Provincia Sierra Madre Occidental tiene un clima templado húmedo (Cfb), y el de la Provincia Sierra Madre Oriental, con 2 tipos de clima seco (BSh y BSk) y sólo una estrecha área de clima templado (Cfa); lo anterior confirma lo mencionado por Passini (1983), de que la temperatura y precipitación son los factores que más influyen en las diferencias florísticas entre las diversas comunidades de *Pinus cembroides* de México. En la sierra Madre Occidental, los piñonares de *P. cembroides* se benefician de un clima subhúmedo con temperatura media anual de 11 a 20° C, y precipitación media anual de 500 a 800 mm mientras que en la sierra Madre Oriental, *Pinus cembroides* ocupa una zona con un clima más seco con temperaturas medias anuales de 17-20° C y precipitación media anual entre 250-400 mm. Es interesante notar que los piñonares de *P. cembroides* del G II de la sierra Madre Occidental formaron un grupo compacto (Fig. 2) y no se agrupan con comunidades de la sierra Madre Oriental. Passini (1983) señala que al oeste de la altiplanicie central y en la sierra Madre Occidental, las comunidades de *P. cembroides* son más homogéneas que al este de la altiplanicie. La mayor semejanza florística entre comunidades de esta región también puede explicarse por la cercanía geográfica, tal como lo registran Sánchez et al. (2005) para bosques de *Abies religiosa* y confirma lo mencionado por McCoy y Heck (1987) de que la semejanza entre 2 comunidades propias de una misma región está influida por factores ambientales comunes que favorecen la dispersión de taxones entre ellas.

Las comunidades de *Pinus johannis* no formaron

un grupo compacto, pero en la mayoría de los casos se asociaron con las de *P. cembroides*, lo que resulta en una alta semejanza florística entre ambas comunidades, principalmente porque ambos piñonares de *P. cembroides* y *P. johannis* habitan en simpatria en los bosques aciculiesclerófilos del sur del altiplano (Romero et al., 1989, 1996) e incluso bajo condiciones semejantes en Querétaro, México (Zavala y Campos, 1993; Romero, 2001). Perry (1991) describe el piñonar de *P. cembroides* de la sierra Madre Oriental asociado con *P. johannis*, *P. chihuahuana* Engelm., *P. engelmannii* Carr., *P. arizonica* Engelm., *Juniperus deppeana* y *Quercus* spp. No obstante lo ya mencionado, *Pinus johannis* habita en parapatria, por sustrato, con *P. cembroides* en Concepción del Oro, Zacatecas; *P. johannis* se halla restringido a los sustratos sedimentarios, mientras que *P. cembroides* habita preferentemente en suelos derivados de sustrato ígneo (Robert, 1978), lo cual probablemente explica la menor semejanza de ese piñonar de *P. johannis* (G IV de la Fig. 2) respecto a los ubicados en el G IV, y quizá, la alopatría de la comunidad de *Pinus johannis* de Cuatro Ciénegas, Coahuila lo hace florísticamente distinto de las comunidades ubicadas más al sur. Existen otros factores que condicionan las diferencias florísticas entre los piñonares de *P. johannis* y *P. cembroides*; así, Zavala y Campos (1993) encontraron que el piñonar de *P. cembroides* se encuentra a mayores altitudes que el de *P. discolor* (*P. johannis*) en Querétaro. En la localidad, las diferencias florísticas entre *P. cembroides* y *P. johannis* pueden ser debidas a que los agrupamientos vegetales responden de manera diferente a las variantes microclimáticas de sustrato y bióticas (Armentrout y Pieper, 1988; Pieper, 1992). Así, Romero (2001) encontró diferencias en la flora de ambas comunidades piñoneras que estudió en San Luis Potosí, pues las de *P. cembroides* se encontraron en sitios más secos, con exposición sur, mientras que aquellos sitios preferidos por *P. johannis* y especies asociadas son característicos de lugares más húmedos y con exposición norte.

Respecto al piñonar de *P. maximartinezii*, las diferencias florísticas pueden deberse, en primer lugar, a su aislamiento (un solo punto geográfico) en una localidad ubicada en la sierra de Morones en el macizo del cerro de Piñones, municipio de Juchipila, Zacatecas, en altitudes de 1 450 a 2 550 m snm, suelos someros y arenosos, y con alta precipitación media anual de 700 a 900 mm, respecto a la típica distribución en medios semisecos de los otros piñonares (300- 500 mm) y temperatura media anual de 17 a 19°C (Passini, 1985 a; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997; Arteaga et al., 2000). Aparentemente, otra causa de la diferencia en la flora acompañante de esta comunidad es el amplio y profundo disturbio por actividades humanas, un factor que ha sido mencionado por Rzedowski (1978),

González et al. (1993) y Reyes et al. (1996) como determinante en la composición florística de piñonares. Cabe mencionar que la flora de este piñonar presenta mayor semejanza con las comunidades de la sierra Madre Occidental, principalmente de Durango, con las cuales comparte elementos florísticos propios de esa provincia fisiográfica.

Quizá las diferencias en la flora de la comunidad de *P. lagunae* se deban a su aislamiento geográfico de otros piñonares. Según Axelrod (1959), la sierra de la Laguna es parte de la región del Cabo, la cual ha estado aislada del resto del continente desde hace 10 millones de años. En razón de lo anterior, la flora de la sierra de La Laguna incluye taxones muy característicos, con una tasa de géneros y especies semejante a lo encontrado en la flora de islas (Ortega y Arriaga, 1987; Arriaga y León, 1989), pues alrededor del 17% de la flora es endémica de esos bosques. Los piñonares más cercanos a esta comunidad se encuentran a 800 km al norte, en la sierra San Pedro Mártir y están separados de los bosques de la parte continental de México por 500 km (Arriaga et al., 1992); en razón de lo anterior, los taxones de la sierra de la Laguna difícilmente pueden encontrarse en comunidades piñoneras de otros entornos.

Las comunidades de *P. quadrifolia* y *P. monophylla* de Baja California formaron un grupo homogéneo en los diferentes análisis numéricos; estas OGU pertenecen a la Provincia Biogeográfica California (Morrone et al., 2002; Morrone, 2005) que comprende las sierras de San Pedro Mártir y de Juárez, con características de clima y suelo semejantes (Cuanalo et al., 1989). De acuerdo con Tuomisto et al. (2003), una menor semejanza florística entre sitios es indicadora de condiciones ambientales diferentes; así, las diferencias florísticas de los piñonares de Baja California respecto a los de otras provincias fisiográficas probablemente se deban a factores climáticos y geográficos, pues están ampliamente separadas por latitud y longitud e influidas por más baja humedad (alrededor de 200 mm anuales) que otras comunidades estudiadas y que principalmente se ubican en las sierras Madre Oriental y Occidental bajo condiciones de mayor precipitación (500-800 mm). En el ámbito local, las diferencias intragrupo entre la comunidad caracterizada por *P. monophylla* y las de *P. quadrifolia* probablemente se deben a la humedad y exposición que se reflejan en la flora acompañante. Minnich (1987) y Peinado et al. (1994) mencionan que *Pinus monophylla* crece casi exclusivamente a lo largo de las laderas orientales de las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir, mientras que *P. quadrifolia* es frecuentemente alopatrica con *P. monophylla*, la cual habita en condiciones más secas que *Pinus quadrifolia*.

Otra determinante de la composición florística de

todos los piñonares aquí considerados es, de acuerdo con Rzedowskii (1978), el disturbio provocado por el aprovechamiento forestal, el cambio de uso de la tierra, el pastoreo y el fuego. Según Miller y Wigand (1994), las tasas de cambio en la vegetación durante los pasados 120 años se han debido primariamente a factores antropógenos; uno de los más pronunciados cambios de la vegetación en tiempo reciente ocurrió en los bosques de enebro y piñonero (*Pinus monophylla*) del sur de California y Nevada. En piñonares del Altiplano Mexicano, Romero y García (2002) cuantificaron la tasa de cambio y elasticidad de esas comunidades y notaron que ha habido una afectación diferencial de los estratos en la composición de las especies por la actividad antropógena, por lo cual el estrato arbóreo y el herbáceo han sido los más afectados por el reemplazo de especies. González et al. (1993) observaron que además de factores del medio, el disturbio ocasionado por el aprovechamiento excesivo en varios sitios y actualmente por el pastoreo, es también un factor que incide en la estructura y composición de varias comunidades de la Reserva de La Michilfa, Durango; así, la abundancia de especies de *Aristida* y *Andropogon* indicadoras de sobrepastoreo, refleja el manejo que se ha dado a esas comunidades en los últimos años. Lo anterior también fue referido por Reyes et al. (1996) para el caso de la comunidad de *P. johannis*, en la sierra Monte Grande, San Luis Potosí; mencionan que el piñonar está sometido a un intenso pastoreo por ganado caprino, lo cual afecta negativamente la composición florística de esa comunidad. De acuerdo con Martin (1986), el uso diferencial de las especies por efecto del pastoreo provoca que algunas aparezcan y otras desaparezcan de los agostaderos debido a su reemplazo sucesional. En razón de las diferencias observadas en la composición florística de los piñonares, el aprovechamiento de tales comunidades debe planificarse de acuerdo con las restricciones observadas, los usos e intensidades de aprovechamiento, las necesidades de conservación y los objetivos a futuro, a fin de asegurar su persistencia.

### Agradecimientos

Bartolo Vázquez, Alfonso de la Rosa, José Luis Flores y Juan Felipe Martínez ofrecieron su ayuda en diferentes fases del trabajo. José García apoyó en la identificación del material vegetal. Nuestro reconocimiento a don Luis Zamarrón y Bonifacio Zamarrón, quienes nos guiaron por los piñonares de la sierra San Miguelito, San Luis Potosí.

## Literatura citada

- Acosta, S. 2004. Afinidades de la flora genérica de algunos bosques mesófilos de montaña del nordeste, centro y sur de México: un enfoque fenético. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75:61-72.
- Aldrete, E. y J. R. Aguirre. 1982. Diferenciación de sitios y condición de agostaderos del noreste del estado de Zacatecas. *Revista Chapingo* 35-36:53-58.
- Armentrout, S. M. y R. D. Pieper. 1988. Plant distribution surrounding Rocky Mountain pinyon pine and one-seed juniper in south-central New México. *Journal of Range Management* 41:139-143.
- Arriaga, L. y J. L. León. 1989. The Mexican tropical deciduous forest of Baja California Sur: a floristic and structural approach. *Vegetatio* 84:45-52.
- Arriaga, L., S. Díaz y C. Mercado. 1992. The oak and oak-pine forest of Baja California Sur: present state and management perspectives. *In Ecology and management of oak and associated woodlands: perspectives in the Southwestern United States and Northern Mexico*. General Technical Report RM-218. Forest Service, USDA. Sierra Vista, Arizona. p. 41-68.
- Arteaga, M., H. García y J. G. Rivera. 2000. Piñón grande, *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 134 p.
- Axelrod, D. I. 1959. Evolution of the Madro Tertiary geoflora. *Botanical Reviews* 24:433-509.
- Basañez, A. J. 1983. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc., y *Pinus nelsonii* Shaw) en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas. Tesis, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad del Noreste. Tampico, Tamaulipas. 110 p.
- Crovell, T. J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon* 30:563-575.
- Cuanalo, H., E. Ojeda, A. Santos y C. A. Ortiz. 1989. Provincias, regiones y subregiones terrestres de México. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México. 624p.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus*. *In Flora Neotropica*. Monograph 75. The New York Botanical Garden, New York. p. 10-67.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1993. Geology of Mexico: a synopsis. *In Biological diversity of Mexico, origins and distribution*, T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot and J. Fa (eds.). Oxford University Press, New York. p. 3-107.
- García, A. y S. González. 1991. Flora y vegetación de la cima del cerro Potosí, Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana* 13:53-74.
- González, J. 1998. Los bosques piñoneros de México. Estudio del bosque de *Pinus johannis* M-F. Robert, en Concepción del Oro, Zacatecas. Tesis, maestría en ciencias Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 152 p.
- González, S., M. González y A. Cortés. 1993. Vegetación de la reserva de la biosfera "La Michilía", Durango, México. *Acta Botánica Mexicana* 22:1-104.
- Hakes, W. 1994. On the predictive power of numerical and Braun-Blanquet classification: an example from beechwoods. *Journal of Vegetation Sciences* 5:153-160.
- Hernández, A. 1985. Análisis estructural de los piñoneros del altiplano potosino-zacatecano. Tesis, maestría en ciencias Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 155 p.
- Hernández, A. y E. García. 1985. Análisis estructural de los piñonares del altiplano potosino. *Agrociencia* 62:7-20.
- Hubálek, Z. 1982. Coefficients of association and similarity, based on binary (presence/absence) data: an evaluation. *Biological Review* 57:669-689.
- Martin, S. C. 1986. Eighty years of vegetation change on a semidesert range in southern Arizona, U.S.A. and evaluation of causes. *In Proceedings. Second International Rangelands Congress*, P. J. Joss, P. W. Linch y O. B. Williams (eds.). Cambridge University Press, Cambridge. p 53.
- McCoy, E. D. y K. L. Heck, Jr. 1987. Some observations on the use of taxonomic similarity in large-scale biogeography. *Journal of Biogeography* 14:79-87.
- McCune, B. y M. J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- McLaughlin, S. P. y J. E. Bowers. 1990. A floristic analysis and checklist for the northern Santa Rita Mountains, Pima Co., Arizona. *The Southwestern Naturalist* 35:61-75.
- McLaughlin, S. P. 1994. Floristic plant geography: the classification of floristic areas and floristic elements. *Progress in Physical Geography* 18:185-208.
- Miller, R. F. y P. E. Wigand. 1994. Holocene changes in semiarid pinyon-juniper woodlands. *BioScience* 44:465-474.
- Minnich, R. A. 1987. The distribution of forest trees in northern Baja California, Mexico. *Madroño* 34:98-127.
- Morrone, J. J., D. Espinosa-Organista y J. Llorente-Bousquets. 2002. Mexican biogeographic provinces: preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoologica Mexicana* 85:83-108.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:207-252.
- Ortega, A. y L. Arriaga. 1987. Biological and socioeconomic importance of the Sierra de La Laguna at Baja California Sur, Mexico. *Proceedings of the Symposium on Biosphere Reserves*. 4th World Wilderness Congress. MAB & USDA Forest Service. p. 207-211.
- Passini, M.-F. 1982. Les forêts de *Pinus cembroides* au Mexique. Mission Archéologique et ethnologique Française au Mexique, Études Mésoméricaines II-5, Cahier 9. Recherche sur les Civilisations, Paris. 373 p.
- Passini, M.-F. 1983. Un exemple de forêt tropicale sèche du Mexique: la forêt de *Pinus cembroides* Zucc. *Bulletin de la Société Botanique Française* 130:69-80.
- Passini, M.-F. 1985 a. Structure et régénération des formations ligneuses à *Pinus maximartinezii* Rzed., Mexique. *Bulletin de la Société Botanique Française* 132:327-339.
- Passini, M.-F. 1985 b. Les forêts de *Pinus cembroides* Zucc. de la Sierra de Uruca, Réserve de la Biosphère "La Michilía" (État de Durango, Mexique). *Bulletin of Ecology* 16:161-168.
- Passini, M.-F. y N. Pinel. 1989. Ecology and distribution of *Pinus lagunae*, in the Sierra de la Laguna, Baja California Sur, México. *Madroño* 36:84-92.
- Passini, M.-F. 1994. Relevés floristiques des forêts de pins

- pignons au Mexique. Université Pierre et Marie Curie, Paris 6. 124 p.
- Peinado, M., C. Bartolomé, J. Delgadillo e I. Aguado. 1994. Pisos de vegetación de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México. *Acta Botanica Mexicana* 29:1-30.
- Perrin, P. M., J. R. Martín, J. Barron y J.R. Roche. 2006. A cluster analysis approach to classifying Irish native woodlands. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 106 :261-275.
- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber, Portland, Oregon. 231 p.
- Pieper, R. D. 1992. Species composition of woodland communities in the southwest. *In Ecology and management of oak and associated woodlands: perspectives in the southwestern United States and northern Mexico*. General Technical Report RM-218, Forest Service, USDA. Sierra Vista, Arizona. p. 119-124.
- Pinkava, D. J. 1984. Vegetation and flora of the Bolsón of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico: IV. Summary, endemism and corrected catalogue. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Sciences* 19:23-47.
- Poulos, H. M., A. E. Camp, R. G. Gatewood y L. Loomis. 2007. A hierarchical approach for scaling forest inventory and fuels data from local to landscape scales in the Davis Mountains, Texas, USA. *Forest Ecology and Management* 244:1-15.
- Reyes, J. A., F. González y J. García. 1996. Flora vascular de la Sierra Monte Grande, municipio de Charcas, S.L.P., México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 58:31-42.
- Robert, M.-F. 1978. Un nouveau pin pignon mexicaine: *Pinus johannis* Robert. *Adansonia*, ser 2. 18:365-373.
- Romero, A., M. Luna y E. García. 1989. Organización de la vegetación asociada a los piñonares de las sierras meridionales de San Luis Potosí. *In Memorias del III Simposio nacional sobre pinos piñoneros, sección ecología*, J. D. Flores, J. Flores, E. García y R. H. Lira (comps.) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro/ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Saltillo, Coahuila. p. 66-71.
- Romero, A. 2001. Historia natural, ecología de poblaciones y fitosociología de *Pinus cembroides* y *Pinus johannis* (piñoneros) del centro de México. Tesis doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 247 p.
- Romero, A., E. García y M.-F. Passini. 1996. *Pinus cembroides* s.l. y *Pinus johannis* del Altiplano Mexicano: una síntesis. *Acta Botanica Gallica* 143:681-693.
- Romero, A. y E. García. 2002. Estabilidad y elasticidad de la composición florística de los piñonares de San Luis Potosí, México. *Agrociencia* 36:243-254.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D.F. 432 p.
- Sánchez-González, A., L. López- Mata y D. Granados-Sánchez. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 56:62-76.
- Suzán, H. 1987. Estudios ecológicos en *Pinus nelsonii* de Tamaulipas. *In II Simposio nacional sobre pinos piñoneros*, M. F. Passini, D. Cibrián y T. Eguiluz (comps.) Centre d'Etudes Mexicaines et Centraméricaines, México, D.F.- Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México- Centro de Genética Forestal, Chapingo, Estado de México. p. 199-210.
- Suzán, H. 1990. Estructura de un bosque de *Pinus nelsonii* Shaw en Tamaulipas. *Biotam* 1:29-35.
- Tuomisto, H., K. Ruokolainen y M. Yli-Halla. 2003. Dispersal, environmental, and floristic variation of western Amazonian forest. *Science* 299:241-244.
- Villarreal, J. A. 1994. Flora vascular de la Sierra de la Paila, Coahuila, México. *Sida* 16:109-138.
- Zavala, F. y J. L. Campos. 1993. Una nueva localidad de *Pinus discolor* Bailey & Hawksworth en el centro de México. *Acta Botanica Mexicana* 25:21-25.

#### Apéndice 1. Descripción de las localidades piñoneras.

##### Baja California

1. Sierra San Pedro Mártir: *P. quadrifolia* / *P. monophylla*; 31°08'-31°59' N, 115°30'-115°33' O; 1150-1720 m snm; 17.9°C, 209.4 mm.
2. Sierra de Juárez: *P. quadrifolia*; 32°04'-32°33' N, 115°51'-116°07' O; 1250-1630 m snm; 21.9°C, 321.4 mm.
3. Sierra San Pedro Martir: *P. quadrifolia*; 30°15'-32°50' N, 115°00'-116°05' O; 1130-2370 m snm; 19.8°C, 235 mm.
4. Sierra San Pedro Martir: *P. monophylla*; 30°15'-32°50' N, 115°00'-116°05' O; 970-1600 m snm; 19.8°C, 235 mm.

##### Baja California Sur

5. Sierra de la Laguna: *P. lagunae*; 23°29'-23°35' N, 109°53'-110°01' O; 1200-2000 m snm; 18.9°C, 580 mm.

##### Coahuila

6. Arteaga: *P. cembroides*; 25°11'-25°27' N, 100°23'-100°46' O; 1950-2600 m snm; 13.3°C, 434 mm.
7. Ramos Arizpe: *P. cembroides*; 25°30'-25°56' N, 100°40'-101°34' O; 1800-2300 m snm; 17.8°C, 310.8 mm.
8. Saltillo: *P. cembroides*; 24°54'-25°23' N, 100°23'-101°30' O; 1900-2300 m snm; 18.6°C, 369.5 mm.
9. Villa de Ocampo: *P. cembroides*; 28°07'-29°02' N, 101°28'-103°04' O; 1400-2250 m snm; 20.5°C, 302 mm.
10. Cuatro Ciénegas: *P. johannis*; 26°59' N, 102°02' O; 740-3000 m snm; 21.5°C, 320 mm.
11. Sierra de la Paila: *P. cembroides*; 25°45'-26°16' N, 101°25'-101°49' O; 1200-2350 m snm; 20°C, 400 mm.

## Chihuahua

12. Cuauhtémoc: *P. cembroides*; 28°23'-29°09' N, 106°47'-107°36' O; 2200-2350 m snm; 13.1°C, 548.3 mm.  
13. Ignacio Zaragoza: *Pinus cembroides*; 29°35'-29°45' N, 107°30'-107°57' O; 2100-2450; 11.3°C, 507.1 mm.  
14. San Pablo Balleza: *P. cembroides*; 26°47'-26°57' N, 106°10'-106°47' O; 1800-2350 m snm; 15.1°C, 570 mm.

## Durango

15. La Michilía: *P. cembroides*; 23°15'-23°35' N, 104°00'-104°20' O; 2600-3150 m snm; 20.7°C, 693.9 mm.  
16. San Juan de Michis: *P. cembroides*; 23°23'-23°35' N, 104°01'-104°10' O; 2150-2700 m snm; 20.7°C, 693.9 mm.  
17. Santiago Papasquiario: *P. cembroides*; 25°02'-25°08' N, 105°18'-105°38' O; 1850-2600 m snm; 17.7°C, 479.5 mm.

## Guanajuato

18. El Cubo, San Felipe: *P. cembroides*; 21°26'-21°35' N, 100°57'-101°12' O; 2440 m snm; 17.1°C, 457.5 mm.

## Nuevo León

19. Aramberri: *P. cembroides*; 23°58'-24°28' N, 99°53'-100°03' O; 1800-2250 m snm; 19.6°C, 435.3 mm.  
20. El Potosí, Galeana: *P. culminicola*; 24°50'-24°53' N, 100°13'-100°15' O; 3500-3670 m snm; 12.0°C, 643 mm.  
21. Galeana: *P. cembroides*; 24°31'-25°16' N, 99°59'-101°35' O; 1700-2850 m snm; 18.5°C, 641.1 mm.

## San Luis Potosí

22. La Amapola, San Luis Potosí: *P. cembroides*/*P. johannis*; 22°00'-22°04' N, 101°04'-101°09' O; 1950-2800 m snm; 16.6°C, 395 mm.  
23. Sierra Monte Grande, Charcas: *P. johannis*; 23°17'-23°21' N, 101°07'-101°11' O; 2200-2800 m snm; 14.8°C, 363 mm.  
24. Villa de Reyes: *P. cembroides*; 21°48'-22°02' N, 100°03'-101°48' O; 1900-2600 m snm; 18.6°C, 413 mm.  
25. Villa de Zaragoza: *P. cembroides*; 21°55'-22°00' N, 100°30'-100°38' O; 2350 m snm; 16.1°C, 438.4 mm.  
26. Guadalcazar: *P. nelsonii*; 22°34'-22°36' N, 100°25'-100°27' O; 2000 m snm; 18.2°C, 697.6 mm.

## Tamaulipas

27. Miquihuana: *P. nelsonii*/*P. cembroides*; 23°30'-23°37' N, 99°37'-99°46' O; 2000-3000 m snm; 17.4°C, 395.6 mm.  
28. Miquihuana: *P. nelsonii*; 23°16'-23°40' N, 99°40'-99°53' O; 1800-2150 m snm; 17.9°C, 330.2 mm.

## Zacatecas

29. Concepción del Oro: *P. cembroides*/*P. johannis*; 24°17'-24°37' N, 101°06'-101°28' O; 2100-2700 m snm; 16.0°C, 500 mm.  
30. Concepción del Oro: *P. johannis*; 24°37' N, 101°25' O; 2543 m snm; 16.0°C, 440.2 mm.  
31. Juchipila: *P. maximartinezii*; 21°20'-21°21' N, 103°13'-103°14' O; 2180-2300 m snm; 17.0°C, 825 mm.  
32. Juchipila: *P. maximartinezii*; 21°21'-21°22' N, 103°13'-103°14' O; 2200 m snm; 17.0°C, 825 mm.
-