

Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua

Morphological variability of *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* and *P. arizonica* populations in the state of Chihuahua

MINERVA SIQUEIROS-CANDIA¹, CARLOS R. MORALES-NIETO^{1,3}, EDUARDO SANTELLANO-ESTRADA¹, ALICIA MELGOZA-CASTILLO¹, MANUEL ALARCÓN-BUSTAMANTE² Y MARTIN MARTÍNEZ-SALVADOR¹

Recibido: Julio 3, 2017

Aceptado: Octubre 1, 2017

Resumen

Para establecer programas de mejoramiento genético en *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* es fundamental conocer la diversidad de sus recursos genéticos. El objetivo fue realizar un análisis de variabilidad morfológica en especies de pinos importantes en Chihuahua. Los bosques templados de Chihuahua se dividieron en zona norte, centro y sur, se muestrearon 20 árboles por especie y zona; se obtuvieron datos de edad, circunferencia, altura del árbol, coordenadas y altitud. Se realizó análisis de componentes principales (CP) y conglomerados (AC). Los valores medios de las variables circunferencia, altura, altitud y edad fueron 32.9 cm, 15.7 m, 2553 msnm y 54.7 años para *Pinus durangensis*, 35.8 cm, 16.0 m, 2326 msnm y 65.8 años y para *P. engelmannii* y 44.8 cm, 15.5 m, 2707 msnm y 81.1 años para *P. arizonica*. Los tres primeros CP explicaron 97.94% para *Pinus durangensis*, 97.45% para *P. engelmannii* y 93.80% para *P. arizonica*. *Pinus durangensis* el CP1 mostró correlación ($P \leq 0.0001$) con zona (0.79), altura (0.86) y altitud (0.80). El CP2 mantuvo una correlación ($P \leq 0.0001$) con circunferencia (0.82). Para *P. engelmannii*, el CP1 presentó correlación ($P \leq 0.0001$) con circunferencia (0.88), altura (0.90) y edad (0.83). El CP2 se correlacionó ($P \leq 0.0001$) con altitud (0.93). Para *P. arizonica* el CP1 estuvo correlacionado ($P \leq 0.0001$) con zona (0.91), circunferencia (0.85), altitud (0.95) y edad (0.80). El CP2 fue correlacionado ($P \leq 0.0001$) con altura (0.94). Conocer la variación fenotípica de especies en la región templada, podría ser útil para regionalizar unidades de manejo en función de la morfología de especies. La información sugiere desarrollar análisis genéticos moleculares de diversidad.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, variación morfológica, pino y población.

Abstract

To establish genetic improvement programs in *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* and *P. arizonica*, it is essential to know the diversity of their genetic resources. The objective was to perform a morphological variability analysis of key pine trees species in Chihuahua. The temperate forests of Chihuahua were divided in north, center and south zones. Twenty trees were sampled by species and zone, age, circumference, tree height, coordinates and altitude were obtained. Principal components (PC) and cluster analysis (CA) were performed with the data. The mean values of circumference, height, altitude and age were 32.9 cm, 15.7 m, 2553 masl and 54.7 y for *Pinus durangensis*, 35.8 cm, 16.0 m, 2326 masl and 65.8 y for *P. engelmannii*, and 44.8 cm, 15.5 m, 2707 masl and 81.1 y for *P. arizonica*. The first three PC explained 97.94% for *Pinus durangensis*, 97.45% for *P. engelmannii* and 93.80% for *P. arizonica*. For *P. durangensis*, PC1 showed correlation ($P \leq 0.0001$) with zone (0.79), height (0.86) and altitude (0.80). The PC2 maintained a correlation ($P \leq 0.0001$) with circumference (0.82). For *P. engelmannii*, PC1 presented correlation ($P \leq 0.0001$) with circumference (0.88), height (0.90) and age (0.83). Likewise, PC2 was correlated ($P \leq 0.0001$) with altitude (0.93). For *P. arizonica*, PC1 was correlated ($P \leq 0.0001$) with zone (0.91), circumference (0.85), altitude (0.95) and age (0.80). In addition, PC2 presented correlation ($P \leq 0.0001$) with height (0.94). Knowing the phenotypic variation of species in the temperate region could be useful to regionalize management units in function of species morphology. The information suggests developing molecular genetic diversity analyzes.

Keywords: Forest use, morphological variation, pine trees and population.

¹ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA. Facultad de Zootecnia y Ecología. Km. 1 Perif. F.R. Almada. C.P 31031, Apdo. Postal 4-28 Chihuahua, Chih., México. Tel. (614) 132-0298.

² INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. Sitio Experimental La Campana. Km. 33.3 Carretera Chihuahua-Ojinaga. C. P. 32910. Aldama Chihuahua México. Tel. (614) 184-8582.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: cnieto@uach.mx.

Introducción

La conservación y manejo de los bosques, como cualquier otro recurso natural, deben involucrar la supervivencia, bienestar humano y la participación de las poblaciones locales. En México, los bosques proporcionan más de 80% de la producción de madera total anual (Caballero, 2012), sin embargo, se deforestan cerca de 400, 000 ha anuales en las que no solo se pierde madera, también recursos asociados como la biodiversidad, suelo, capacidad de retención y cosecha de agua, los hábitats para la fauna y principalmente la pérdida de los recursos genéticos del bosque.

También, la alta variabilidad genética en especies forestales es responsable de los procesos de adaptación ante factores bióticos y abióticos extremos, y aseguran la persistencia frente a los riesgos a los que están sometidas las masas forestales (Alía *et al.*, 2003). Sin embargo, en México no existe una política nacional para realizar estudios y elaborar inventarios de la variación genética en especies forestales, ni se han establecido mecanismos para dar seguimiento a la pérdida genética y vulnerabilidad de estas especies (FAO, 2010).

Por la importancia de lo anterior es urgente realizar una evaluación sistemática de su diversidad y establecer programas de mejoramiento genético forestal. Las tres especies forestales más importantes en el estado de Chihuahua son: *Pinus arizonica* (Engelm.), *Pinus durangensis* (Martínez) y *Pinus engelmannii* (Carr.). Estas son nativas de México y están distribuidas en la zona norte del país. Sus principales usos son para la elaboración de cajas de empaque, postes, triplay, durmientes, celulosa y leña (CONAFOR, 2013; Lebgue *et al.*, 2014). *Pinus arizonica* alcanza 25-35 m de altura con 1.2 m de diámetro de tronco. Las acículas están en paquetes fasciculares de 3, 4 o 5, siendo 5 el más prevaeciente. *Pinus durangensis* tiene fuste recto de hasta 40 m de altura, copa redondeada y compacta, ramas péndulas a horizontales, ramillas tiernas a veces con tinte azulado, corteza rugosa. *Pinus engelmannii* mide hasta 35 m de altura, copa redondeada, abierta en forma cónica. Corteza de color café rojizo a oscuro, rugosa, escamosa. Madera suave, de color amarillo pálido de muy buena calidad (Rzedowski, 1978; Farjon y Styles, 1997).

La documentación de estos recursos presentes aun en los bosques templados de Chihuahua, debe realizarse cuanto antes para incidir en su recuperación a través del uso de materiales sobresalientes. El

objetivo de la presente investigación fue realizar un análisis de la variabilidad morfológica de tres especies de pinos importantes en el estado de Chihuahua.

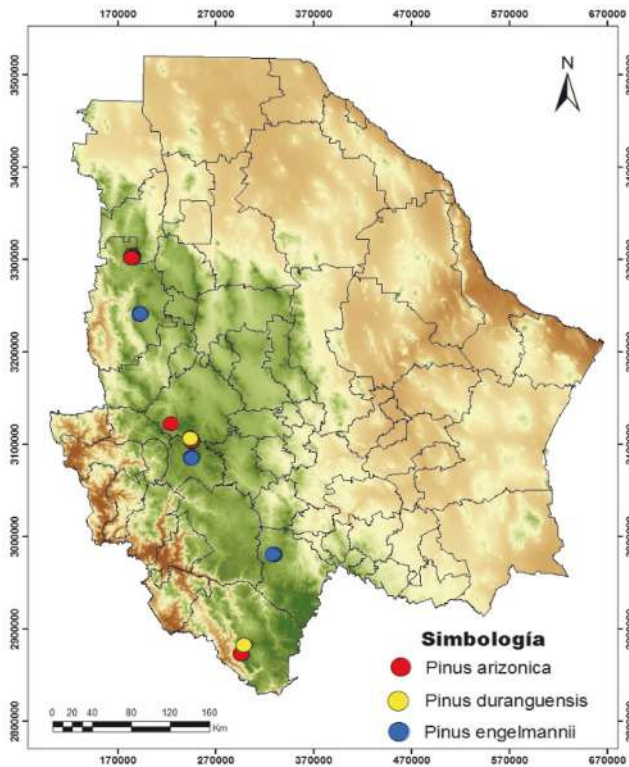
Materiales y métodos

Descripción del Área de Estudio. El muestreo se realizó en 2014 en los bosques templados de Chihuahua localizados entre los 24° 42' 03" y 31° 16' 43" latitud norte y los 105° 22' 48" y 109° 33' 25" longitud oeste (Figura 1). En su mayoría, el área corresponde a un clima semi cálido húmedo del grupo C: (A)C(m)(f), donde la temperatura media anual es mayor de 18 °C y la temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor a 22 °C. La precipitación anual es mayor a 500 mm y la precipitación del mes más seco mayor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual (García, 1998).

Esta región de bosques templados de Chihuahua se dividió en norte, centro y sur. Los criterios para establecer los límites de las tres zonas además de la orientación geográfica fue la presencia de poblaciones densas de cada especie y una distancia entre población superior a los 200 km. Dentro de cada zona se muestrearon 20 árboles por especie y se denominaron ecotipos (Cuadro 1).

Se obtuvieron datos morfológicos como edad, circunferencia, altura del árbol y datos de origen como coordenadas y altitud de cada sitio. La edad se estimó considerando el diámetro del árbol y contando los espirales del tronco. La circunferencia de cada árbol se obtuvo midiéndolo con una cinta flexible y la altura del árbol se obtuvo con un clinómetro marca Suunto. Finalmente, los datos de origen de cada árbol como fueron las coordenadas y altitud de cada sitio se obtuvieron con un GPS marca Garmin (Cuadro 2, Cuadro 3, Cuadro 4).

Figura 1. Ubicación de las zonas muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.



Cuadro 1. Ubicación de las áreas de muestreos en la región de bosques templados de Chihuahua, México.

Especie	Zona Muestreada		
	Norte	Centro	Sur
<i>Pinus durangensis</i>	Predio Socorro Rivera, Madera. Paraje Mesa de La Laguna del 11.	Ejido Shewerachi, Bocoyna. Paraje Ciénega del Táscate	Ejido el Tule y Portugal. Municipio de Guadalupe y Calvo
<i>Pinus engelmannii</i>	Paraje El Bonito, El Largo Maderal.	Mesa de Baboreachi, Lote Semillero. Municipio de Bocoyna.	Carretera Balleza - Chihuahua
<i>Pinus arizonica</i>	El Bajío del Sol, Ejido El Largo Maderal.	Ejido San Juanito. Predio Hacienda de Guadalupe. Creel.	Cerro Mohinora. Guadalupe y Calvo.

Análisis estadístico. A las variables continuas (altitud, diámetro, altura y edad de la planta) se les realizó un análisis de componentes principales (CP) y un análisis de conglomerados (AC), mediante el método de Ward, además, se realizó un análisis de varianza multivariado y contrastes ortogonales para

evaluar diferencias entre zonas (norte-centro-sur). Los análisis se realizaron con el programa SAS/STAT® 12.1 (2012). El dendrograma se obtuvo con el programa MINITAB 16®.

Resultados y discusión

Los valores mínimos y máximos obtenidos de las cuatro variables evaluadas en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en bosques templados de Chihuahua, México, se presentan en el (Cuadro 5). Los valores medios de las variables circunferencia, altura del árbol, altitud y edad fue de 32.9 cm, 15.7 m, 2,553 msnm y 54.7 años para *Pinus durangensis*; 35.8 cm, 16.0 m, 2,326 msnm y 65.8 años para *Pinus engelmannii*; y 44.8 cm, 15.5 m, 2,707 msnm y 81.1 años para *Pinus arizonica*, respectivamente.

El análisis de componentes principales (CP) mostró que los tres primeros explican el 97.94%, 97.45% y 93.80% de la variación total observada en *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica*, respectivamente. Al analizar los vectores característicos de las variables (zona, circunferencia, altura del árbol, altitud y edad) de mayor valor descriptor, respecto a su componente principal en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua, se obtuvo que *Pinus durangensis*, la variable que más contribuyó con el CP1 fue la altura del árbol; en el CP2, circunferencia de tallos y CP3, la edad. En *P. engelmannii* la variable con más contribución con el CP1 fue altura de árbol; para el CP2 fue altitud y para el CP3, la zona (norte, centro y sur). Finalmente, *P. arizonica* mostró que la variable que más contribuyó con el CP1 fue altitud; altura del árbol en el CP2 y para el CP3 fue la edad.

Es importante considerar que la homogeneidad o la variación en las estructuras diamétricas o de altura en poblaciones de pinos es muy importante para la evaluación biométrica de los árboles presentes en estas poblaciones (Martínez, 2008). Además, algunos de los indicadores que podrían estimarse como la circunferencia y el diámetro del fuste de especies de coníferas, es la compacidad de la circunferencia a la altura del diámetro normal, el coeficiente de forma del fuste de los árboles, así como las variaciones en grosor en la base de los árboles (Madrigal y Vázquez, 2005).

Cuadro 2. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus durangensis* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-D	2310	29°15'21.5"	108°10'14.7"	E-11-C-D	2566	28°03'30.4"	107°36'34.2"
E-2-N-D	2312	29°15'21.7"	108°10'13.6"	E-12-C-D	2559	28°03'30.0"	107°36'32.9"
E-3-N-D	2319	29°15'19.8"	108°10'14.1"	E-13-C-D	2565	28°03'29.5"	107°36'34.0"
E-4-N-D	2330	29°15'21.0"	108°10'13.5"	E-14-C-D	2569	28°03'31.4"	107°36'34.6"
E-5-N-D	2328	29°15'23.7"	108°10'15.9"	E-15-C-D	2579	28°03'500"	107°36'.606"
E-6-N-D	2331	29°15'25.2"	108°10'10.4"	E-16-C-D	2562	28°03'24.9"	107°36'34.7"
E-7-N-D	2332	29°15'25"	108°10'10.2"	E-17-C-D	2554	28°03'25.8"	107°36'33.0"
E-8-N-D	2334	29°15'24.5"	108°10'10.9"	E-18-C-D	2556	28°03'26.8"	107°36'33.7"
E-9-N-D	2329	29°15'23.3"	108°10'7.8"	E-19-C-D	2553	28°03'22.8"	107°36'37.0"
E-10-N-D	2338	29°15'25.2"	108°10'7.0"	E-20-C-D	2552	28°03'21.3"	107°36'33.2"
E-11-N-D	2343	29°15'25.9"	108°10'3.9"	E-1-S-D	2789	26°02'26.5"	107°01'10.3"
E-12-N-D	2346	29°15'28"	108°10'4.0"	E-2-S-D	2787	26°02'24.8"	107°01'09.1"
E-13-N-D	2346	29°15'26.4"	108°10'4.2"	E-3-S-D	2783	26°02'24.0"	107°01'10.8"
E-14-N-D	2343	29°15'26.5"	108°09'59"	E-4-S-D	2780	26°02'25.2"	107°01'06.8"
E-15-N-D	2346	29°15'27.9"	108°10'1.8"	E-5-S-D	2778	26°02'27.1"	107°01'07.0"
E-16-N-D	2341	29°15'30.1"	108°09'-56.3"	E-6-S-D	2788	26°02'30.8"	107°01'03.0"
E-17-N-D	2341	29°15'30.8"	108°09'59"	E-7-S-D	2788	26°02'29.6"	107°00'58.8"
E-18-N-D	2334	29°15'29.4"	108°09'58.5"	E-8-S-D	2783	26°02'29.4"	107°00'57.0"
E-19-N-D	2324	29°15'29.1"	108°09'57"	E-9-S-D	2781	26°02'29.2"	107°00'56.6"
E-20-N-D	2321	29°15'30.9"	108°09'56"	E-10-S-D	2780	26°02'30.0"	107°00'55.8"
E-1-C-D	2550	28°03'23"	107°36'34.1"	E-11-S-D	2778	26°02'31.9"	107°00'56.0"
E-2-C-D	2547	28°03'22.2"	107°36'32.1"	E-12-S-D	2781	26°02'32.6"	107°00'56.2"
E-3-C-D	2554	28°03'24.3"	107°36'33.7"	E-13-S-D	2777	26°02'33.3"	107°00'55.3"
E-4-C-D	2555	28°03'21.9"	107°36'34"	E-14-S-D	2774	26°02'34.5"	107°00'54.4"
E-5-C-D	2555	28°03'21.5"	107°36'34"	E-15-S-D	2773	26°02'34.7"	107°00'52.2"
E-6-C-D	2558	28°03'27.0"	107°36'34.2"	E-16-S-D	2770	26°02'35.1"	107°00'51.6"
E-7-C-D	2562	28°03'28.5"	107°36'35.2"	E-17-S-D	2789	26°02'22.0"	107°01'11.3"
E-8-C-D	2561	28°03'24.2"	107°36'34.1"	E-18-S-D	2779	26°02'22.9"	107°01'10.1"
E-9-C-D	2570	28°03'45"	107°36'54.8"	E-19-S-D	2700	26°02'24.2"	107°01'07.9"
E-10-C-D	2573	28°03'28"	107°36'33.7"	E-20-S-D	2776	26°02'26.5"	107°01'06.9"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; D = *Pinus durangensis*.

Al correlacionar las cinco variables con los tres primeros CP en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en los bosques templados de Chihuahua, todas presentaron correlaciones significativas ($P \leq 0.0001$). Para *Pinus durangensis* el CP1, ($P \leq 0.0001$), en zona (0.79), altura del árbol (0.86) y altitud (0.80). El CP2, también fue significativo ($P \leq 0.0001$); con la circunferencia del tallo (0.82). Por último, el CP3, también fue significativo ($P \leq 0.0067$) con la edad (Cuadro 6).

Cuadro 5. Valores mínimos y máximos de cuatro variables evaluadas en poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en bosques templados de Chihuahua, México.

Variable	<i>Pinus durangensis</i>	<i>Pinus engelmannii</i>	<i>Pinus arizonica</i>
Circunferencia (cm)	20-50	30-55	30-70
Altura del árbol (m)	11-20	14-20	8-20
Altitud (msnm)	2310-2789	2186-2789	2318-3322
Edad (años)	30-80	50-90	50-100

Cuadro 3. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus engelmannii* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (W)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-E	2224	29°15'21.5"	108°10'14.7"	E-11-C-E	2396	27°51'46.2"	107°35'37.8"
E-2-N-E	2217	29°15'21.7"	108°10'13.6"	E-12-C-E	2395	27°51'46.6"	107°35'40.4"
E-3-N-E	2226	29°15'19.8"	108°10'14.1"	E-13-C-E	2395	27°51'47.9"	107°35'41.5"
E-4-N-E	2218	29°15'21.0"	108°10'13.5"	E-14-C-E	2397	27°51'49.9"	107°35'41.4"
E-5-N-E	2221	29°15'23.7"	108°10'15.9"	E-15-C-E	2397	27°51'52.9"	107°35'41.2"
E-6-N-E	2186	29°15'25.2"	108°10'10.4"	E-16-C-E	2400	27°51'57.2"	107°35'24.0"
E-7-N-E	2178	29°15'25"	108°10'10.2"	E-17-C-E	2397	27°51'57.2"	107°35'17.7"
E-8-N-E	2179	29°15'24.5"	108°10'10.9"	E-18-C-E	2395	27°51'58.4"	107°35'12.4"
E-9-N-E	2175	29°15'23.3"	108°10'7.8"	E-19-C-E	2397	27°51'56.3"	107°35'10.0"
E-10-N-E	2132	29°15'25.2"	108°10'7.0"	E-20-C-E	2398	27°51'53.6"	107°35'09.9"
E-11-N-E	2153	29°15'25.9"	108°10'3.9"	E-1-S-E	2241	26°55'54.6"	106°43'12.6"
E-12-N-E	2165	29°15'28"	108°10'4.0"	E-2-S-E	2240	26°55'52.3"	106°43'13.0"
E-13-N-E	2180	29°15'26.4"	108°10'4.2"	E-3-S-E	2250	26°55'50.1"	106°43'10.3"
E-14-N-E	2177	29°15'26.5"	108°09'59"	E-4-S-E	2252	26°55'47.6"	106°43'10.7"
E-15-N-E	2171	29°15'27.9"	108°10'1.8"	E-5-S-E	2253	26°55'47.6"	106°43'13.2"
E-16-N-E	2210	29°15'30.1"	108°09'56.3"	E-6-S-E	2256	26°55'47.5"	106°43'16.3"
E-17-N-E	2206	29°15'30.8"	108°09'59"	E-7-S-E	2257	26°55'50.2"	106°43'17.7"
E-18-N-E	2205	29°15'29.4"	108°09'58.5"	E-8-S-E	2259	26°55'52.7"	106°43'18.3"
E-19-N-E	2208	29°15'29.1"	108°09'57"	E-9-S-E	2272	26°55'50.6"	106°43'19.1"
E-20-N-E	2208	29°15'30.9"	108°09'56"	E-10-S-E	2265	26°55'52.0"	106°43'12.6"
E-1-C-E	2418	27°51'51"	107°35'36.5"	E-11-S-E	2262	26°55'45.5"	106°43'07.5"
E-2-C-E	2418	27°51'54.6"	107°35'40.5"	E-12-S-E	2267	26°55'44.4"	106°43'11.0"
E-3-C-E	2407	27°51'53.3"	107°35'42.7"	E-13-S-E	2273	26°55'46.4"	106°43'04.7"
E-4-C-E	2406	27°51'51.7"	107°35'43.4"	E-14-S-E	2266	26°55'42.0"	106°43'07.9"
E-5-C-E	2395	27°51'50.3"	107°35'45.5"	E-15-S-E	2270	26°55'51.0"	106°43'07.9"
E-6-C-E	2399	27°51'48.2"	107°35'43.9"	E-16-S-E	2277	26°55'55.5"	106°43'10.0"
E-7-C-E	2398	27°51'47.4"	107°35'43.9"	E-17-S-E	2276	26°55'55.0"	106°43'11.3"
E-8-C-E	2391	27°51'44.6"	107°35'42.6"	E-18-S-E	2276	26°55'56.7"	106°43'07.0"
E-9-C-E	2384	27°51'42.3"	107°35'40.7"	E-19-S-E	2281	26°55'58.1"	106°43'00.4"
E-10-C-E	2387	27°51'42.8"	107°35'37.3"	E-20-S-E	2281	26°55'58.9"	106°43'58.2"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; E = *Pinus engelmannii*.

Cuadro 6. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus durangensis* (Martínez) en los bosques templados de Chihuahua, México.

	Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad
CP1	0.79 (P ≤ 0.0001)	0.45 (P = 0.0590)	-0.86 (P ≤ 0.0001)	0.80 (P ≤ 0.0001)	0.69 (P = 0.0021)
CP2	-0.59 (P = 0.0115)	0.82 (P ≤ 0.0001)	0.37 (P = 0.1428)	-0.59 (P = 0.0126)	0.35 (P = 0.1653)
CP3	-0.07 (P = 0.7876)	-0.25 (P = 0.3319)	-0.24 (P = 0.3340)	-0.05 (P = 0.8224)	0.63 (P = 0.0067)

El Cuadro 7 muestra que en *Pinus engelmannii* su CP1 presentó correlación significativa (P ≤ 0.0001) con circunferencia (0.88), altura del árbol (0.90) y

edad (0.83). El CP2, fue significativo (P ≤ 0.0001) con la altitud (0.93) y el CP3, fue significativo (P = 0.0087) con la edad (0.61).

Cuadro 7. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus engelmannii* (Carr.) en los bosques templados de Chihuahua, México.

Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad	Zona
CP1	-0.60 (P = 0.0098)	0.88 (P ≤ 0.0001)	0.90 (P ≤ 0.0001)	-0.07 (P = 0.7885)	0.83 (P ≤ 0.0001)
CP2	0.477 (P = 0.0526)	0.06 (P = 0.7977)	0.30 (P = 0.2314)	0.93 (P ≤ 0.0001)	0.20 (P = 0.9370)
CP3	0.61 (P = 0.0087)	0.03 (P = 0.8955)	-0.01 (P = 0.9395)	-0.31 (P = 0.2121)	0.40 (P = 0.1061)

Cuadro 4. Datos morfológicos y de origen de ecotipos de *Pinus arizonica* muestreadas en los bosques templados de Chihuahua, México.

Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)	Ecotipo	Altitud (msnm)	Latitud (N)	Longitud (O)
E-1-N-A	2318	29°48'57"	108°-15'58"	E-11-C-A	2451	28°01'41.2"	107°35'46.1"
E-2-N-A	2324	29°49'04.5"	108°15'57.8"	E-12-C-A	2451	28°01'40.2"	107°35'42.2"
E-3-N-A	2361	29°49'58.4"	108°16'01.9"	E-13-C-A	2452	28°01'44.0"	107°35'44.3"
E-4-N-A	2348	29°48'59.7"	108°15'57.2"	E-14-C-A	2458	28°01'63.6"	107°35'84.9"
E-5-N-A	2375	29°48'0.96"	108°15'.99"	E-15-C-A	2461	28°01'37.9"	107°35'57"
E-6-N-A	2455	29°48'40.4"	108°16'04.3"	E-16-C-A	2452	28°01'18.1"	107°35'47"
E-7-N-A	2457	29°48'41.8"	108°16'02.8"	E-17-C-A	2464	28°01'16.9"	107°35'46"
E-8-N-A	2451	29°48'39.3"	108°16'02.6"	E-18-C-A	2458	28°01'17.7"	107°35'42.3"
E-9-N-A	2465	29°48'40.8"	108°16'05.7"	E-19-C-A	2470	28°01'22.9"	107°35'41.5"
E-10-N-A	2460	29°48'39"	108°16'05.5"	E-20-C-A	2464	28°01'25.6"	107°35'42.9"
E-11-N-A	2436	29°48'23.9"	108°16'26.5"	E-1-S-A	3322	25°57'21.7"	107°02'48.7"
E-12-N-A	2436	29°48'25.8"	108°16'25.1"	E-2-S-A	3308	25°57'19.8"	107°02'49.8"
E-13-N-A	2439	29°48'23.4"	108°16'26.3"	E-3-S-A	3311	25°57'17.8"	107°02'50.9"
E-14-N-A	2445	29°48'26.0"	108°16'28.1"	E-4-S-A	3313	25°57'25.2"	107°02'51.8"
E-15-N-A	2439	29°48'21.9"	108°16'28.9"	E-5-S-A	3303	25°57'24.4"	107°02'49.9"
E-16-N-A	2435	29°48'06.2"	108°16'32.7"	E-6-S-A	3300	25°57'20.5"	107°02'47.0"
E-17-N-A	2434	29°48'08.4	108°16'33"	E-7-S-A	3295	25°57'24.2"	107°02'49.1"
E-18-N-A	2434	29°48'07.0	108°16'34.3"	E-8-S-A	3298	25°57'25.3"	107°02'50.6"
E-19-N-A	2434	29°48'07.0	108°16'31"	E-9-S-A	3284	25°57'25.5"	107°02'48.9"
E-20-N-A	2429	29°48'05.2	108°16'32"	E-10-S-A	3282	25°57'28"	107°02'50.2"
E-1-C-A	2452	28°01'42.6"	107°36'00.0"	E-11-S-A	3278	25°57'31.5"	107°02'50.4"
E-2-C-A	2453	28°01'44.4"	107°35'59.8"	E-12-S-A	3277	25°57'29.5"	107°02'49.5"
E-3-C-A	2447	28°01'44.2"	107°35'57.4"	E-13-S-A	3273	25°57'27.3"	107°02'42.4"
E-4-C-A	2445	28°01'44.5"	107°35'54.5"	E-14-S-A	3271	25°57'27.5"	107°02'45.0"
E-5-C-A	2442	28°01'44.4"	107°35'52.3"	E-15-S-A	3270	25°57'26.9"	107°02'46.8"
E-6-C-A	2453	28°01'40.9"	107°35'58.3"	E-16-S-A	3208	25°57'27.6"	107°02'32"
E-7-C-A	2452	28°01'39.0"	107°35'57.7"	E-17-S-A	3178	25°57'26.8"	107°02'21.8"
E-8-C-A	2446	28°01'41.1"	107°35'52.4"	E-18-S-A	3140	25°57'28.9"	107°02'50.9"
E-9-C-A	2447	28°01'41.5"	107°35'49.3"	E-19-S-A	3232	25°57'29.5"	107°02'49.3"
E-10-C-A	2446	28°01'43.6"	107°35'49.3"	E-20-S-A	3229	25°57'28.0"	107°02'48.6"

E = ecotipo; N = norte del macizo forestal; C = centro del macizo forestal; S = sur del macizo forestal; A = *Pinus arizonica*.

Para *Pinus arizonica*, el CP1 presentó correlación significativa ($P \leq 0.0001$) con la zona (0.91), la circunferencia (0.85), altitud (0.95) y edad (0.80). El CP2, fue significativo ($P \leq 0.0001$) con la altura (0.94) y el CP3, fue significativo ($P = 0.0569$) con la edad (0.45).

La obtención de variables o estimadores como circunferencia, diámetro, compacidad de la circunferencia, coeficiente de forma del fuste, variaciones en grosor, entre otras, son muy importantes para elaborar ecuaciones y poder predecir volumen y biomasa en poblaciones de pinos para calcular existencias y poder predecir cosecha de bosques (Cuadro 8) en (Madrigal y Vázquez, 2005).

La Figura 2 muestra el dendograma del análisis de las cinco variables en ecotipos de *Pinus durangensis*, donde se obtuvieron tres grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 7.19. El grupo I (G-I) integró a cinco colectas de la región norte (Predio Socorro Rivera, Madera, Paraje Mesa de La Laguna del 11 del municipio de Madera, Chihuahua). El grupo II (G-II) agrupó a seis: tres del sur, originarios del ejido el Tule y Portugal, municipio de Guadalupe y Calvo; dos del centro, originarios del ejido Shewerachi, Bocoyna y Paraje Ciénega del Tásate. Finalmente, el grupo III (G-III) integró a seis, tres del centro, originarios del ejido Shewerachi, Bocoyna y Paraje Ciénega del Tásate y tres de sur, originarios del ejido el Tule y Portugal, municipio de Guadalupe y Calvo.

Cuadro 8. Correlación de variables con CP en poblaciones de *Pinus arizonica* (Engelm.) en los bosques templados de Chihuahua, México.

Zona	Circunferencia	Altura de árbol	Altitud	Edad	Zona
CP1	0.91 (P ≤ 0.0001)	0.85 (P ≤ 0.0001)	-0.21 (P = 0.3889)	0.95 (P ≤ 0.0001)	0.80 (P ≤ 0.0001)
CP2	-0.19 (P = 0.4470)	0.30 (P = 0.2211)	0.94 (P ≤ 0.0001)	-0.19 (P = 0.4417)	0.37 (P = 0.1213)
CP3	0.18 (P = 0.4610)	0.25 (P = 0.3127)	0.14 (P = 0.5740)	0.01 (P = 0.9590)	-0.45 (P = 0.0569)

La Figura 3 muestra el dendrograma del análisis de cinco variables en ecotipos de *Pinus engelmannii*, donde se obtuvieron dos grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 7.27. El Grupo I (G-I) constituyó a dos subgrupos (AI y AII) y el Grupo II (G-II) integró dos subgrupos más (BI y BII). En el subgrupo AI, se agruparon dos poblaciones del norte recolectadas del paraje El Bonito, El Largo Maderal y uno del centro procedente de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna; en el subgrupo AII, se agruparon cuatro colectas del centro de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna. El subgrupo BI, integró tres ecotipos del norte, ubicadas en el Paraje El Bonito, El Largo Maderal y una colecta del centro, originario de la Mesa de Baboreachi, Lote Semillero, municipio de Bocoyna; finalmente, en el subgrupo BII se agruparon seis ecotipos del sur, originarias de la carretera Balleza-Chihuahua.

Figura 2. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones de *Pinus durangensis* con base en el método de ligamiento Ward.

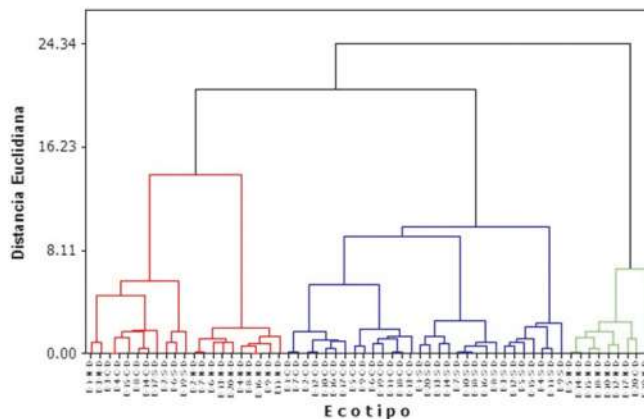
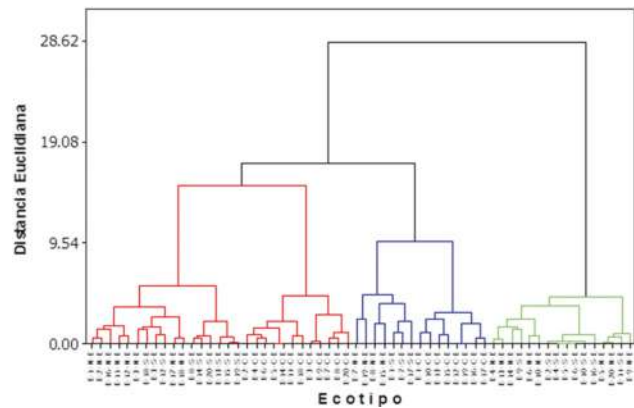
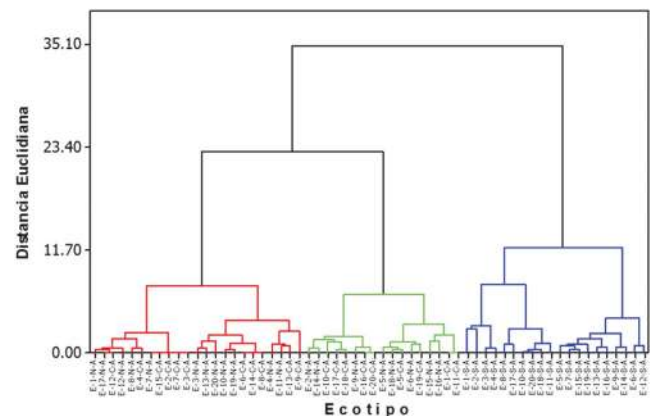


Figura 3. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones *Pinus engelmannii* (Carr.) con base en el método de ligamiento Ward.



La Figura 4 muestra el dendrograma del análisis de las cinco variables en poblaciones de *Pinus arizonica* donde se obtuvieron tres grupos basados en el método de ligamiento Ward a una distancia euclidiana de 5.67. El grupo I (G-I) integró a cuatro árboles de la región norte del macizo forestal del estado de Chihuahua, El Bajío del Sol, ejido El Largo Maderal y tres árboles del centro, nativos del ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe y Calvo. El grupo II (G-II) agrupó a cinco árboles: dos del norte, procedentes de El Bajío del Sol, ejido El Largo Maderal, tres del centro, del ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe y Calvo. Finalmente, el grupo III (G-III) integró a seis árboles, todos del sur, originarios del cerro de Mohinora, Guadalupe y Calvo. Esta variación observada en las poblaciones de estas tres especies de pinos, probablemente es el resultado de la adaptación de la diversidad de factores ambientales en el área muestreada, tales como precipitación, temperatura y altitud.

Figura 4. Dendrograma del análisis de cinco variables en poblaciones *Pinus arizonica* (Engelm.) con base en el método de ligamiento Ward.



La mayoría de las investigaciones relacionadas con diámetro, altura y edad de los árboles se han enfocado para elaborar tablas de volúmenes, modelos de productividad denominados índices de sitio, modelos de densidad (diagramas) y las relaciones de estos con el aprovechamiento a través de la aplicación de tratamientos silvícolas (Navarro *et al.*, 2011). Adicionalmente, se han realizado estudios sobre la influencia de factores exógenos como plagas y enfermedades, sobre la variación en las estructuras de los árboles, así como afectaciones en su crecimiento (Martínez-Salvador *et al.*, 2015).


Griffiths *et al.* (2009) identifican relaciones entre el crecimiento de coníferas y algunas variables físicas, como la profundidad de suelo, altitud, pendiente y exposición, así como algunas propiedades físicas como pH, material muerto y contenido de limo en la capa de 50 cm de suelo (Skovsgaard y Vanclay, 2008; Stoler y Relyea, 2011). Los resultados de estos estudios, así como los desarrollados en esta investigación pueden ser usados para construir modelos espaciales a partir de valores de óptimas condiciones para el desarrollo de las especies (Waring *et al.*, 2014).

Al realizar el análisis de varianza multivariado y contrastes ortogonales para evaluar diferencias entre la zona norte (El Bajío del Sol, Ejido El Largo Maderal), zona centro (Ejido San Juanito, Predio Hacienda de Guadalupe, Creel) y zona sur (Cerro Mohinora, Guadalupe y Calvo), se encontraron diferencias ($p < 0.0001$) en las poblaciones de *Pinus durangensis* y *Pinus engelmannii*. En las poblaciones de *Pinus arizonica* procedentes del norte y centro, no se encontraron diferencias ($p = 0.06$).

Conclusiones

Los recursos genéticos de *Pinus engelmannii*, *P. arizonica* y *P. durangensis* recolectados en los bosques templados del estado de Chihuahua, presentaron variabilidad morfológica y variación en su distribución altitudinal. La altitud sobre el nivel del mar y la altura de la planta fueron las variables continuas que más contribuyeron en definir la variabilidad de las poblaciones, independientemente de la especie. Estos resultados permitirán a técnicos e investigadores conocer la estructura y variabilidad de las poblaciones de estas especies para realizar programas de mejoramiento y esquemas de manejo diferenciado.

Literatura citada

- ALÍA, R., D. Agúndez, N. Alba, S. C. González y A. Soto. 2003. Variabilidad genética y gestión forestal. *Ecosistemas* 12(3):1-7.
- CABALLERO, D. M. 2012. Parcelas de muestra permanente para i.f.c en México. *Rev. Mex. Cienc. Fores.* 4:56-64.
- FARJON, A., and B. T. Styles. 1997. *Pinus (Pinaceae)*. Flora Neotropica Monograph 75. New York, NY: The New York Botanical Garden. <http://www.conifers.org/refs/farjon97.htm>.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos Forestales mundiales 2010. *Informe Nacional México*. En: <http://www.fao.org/>. Consultado 01 Abril 2013.
- GARCÍA, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de kopen. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO), México Primera edición: 1964. Segunda edición: corregida y aumentada, 1973. Tercera edición: corregida y aumentada, 1981. México, D.F. 98 p.
- GRIFFITHS, R. P., M. D. Madritch and A. K. Swanson. 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): Implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management* 257(1):1-7.
- LEBGUE-KELENG, T., J. Hernández Salas, J. M. Chacón Sotelo, *et al.* 2014. Pinos (*Pinaceae*). Bosque templado, en: La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. CONABIO. México: 436-439.
- MADRIGAL, H. S. y I. Vázquez C. 2005. Aplicación de análisis troncales para estimar altura y diámetro, en *Pinus pringlei*, infestados por *Psittacanthus macrantherus*. In VII CONGRESO MEXICANO DE RECURSOS FORESTALES. «La Ciencia y la Tecnología al Servicio de los Ecosistemas Forestales. Universidad Autónoma Chapingo: 266-267.
- MARTÍNEZ, S.M. 2008. Potencial productivo y zonificación forestal para el reordenamiento silvícola en bosques templados. *Folleto Técnico Núm. 37. INIFAP, C.E. La Campana. Chihuahua, Chih., Méx.* 52 p.
- MARTÍNEZ-SALVADOR, M., S. Madrigal, I. Vázquez., E. Velasco, C. Morales y F. Villarreal. 2015. Assessment of effect of dwarf mistletoe *Arceuthobium vaginatum* on *Pinus hartwegii* in Colima, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 6:44-55.
- NAVARRO, C. C., A. Herrera, F. Drake y J. Donoso. 2011. Diagrama de manejo de densidad y su aplicación a raleo en bosques de segundo crecimiento de *Drimys winteri* en el sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* 32:175-186.
- RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 432 pp.
- SAS, Institute Inc. 2012. SAS/STAT® 12.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SKOVSGAARD, J. P. and K. Vanclay. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* 81:13-31.
- STOLER, A. B. and R.A. Relyea. 2011. Living in the litter: the influence of tree leaf litter on wetland communities. *Oikos*. 120: 862-872.
- WARING, R. H., C. Coops, A. Mathys, T. Hilker and G. Latta. 2014. Process-based modeling to assess the effects of recent climatic variation on site productivity and forest function across Western North America. *Forests* 5:518-534. 

Este artículo es citado así:

Siqueiros-Candia, M., C. R. Morales-Nieto, E. Santellano-Estrada, A. Melgoza-Castillo, M. Alarcón-Bustamante y M. Martínez-Salvador. 2017. Variabilidad morfológica de poblaciones de *Pinus durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica* en el estado de Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua* 11(3):139-146.

Resumen curricular del autor y coautores

MINERVA SIQUEIROS CANDIA. Terminó sus estudios en 2010, año que le fue otorgado el título de Ingeniero en Ecología por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Recursos Naturales en 2014 en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde el 2016 labora en la Universidad Tecmilenio como docente.

CARLOS RAÚL MORALES NIETO. Terminó su licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Saltillo Coahuila, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Tecnología de Semillas en el año 2000 por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Genética en 2006 por Colegio de Posgraduados. De 1978 a 2012 laboró como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de 2012 a la fecha labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2007 a la fecha (Nivel 1). Su área de especialización es el Mejoramiento de Pastizales, Tecnología de Semillas y Genética. Ha concluido 7 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 2 de doctorado. Es autor y coautor de más de 40 artículos en revistas indexadas y arbitradas, 6 capítulos en libro y más de 60 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt, y árbitro de ocho revistas científicas de circulación internacional. Es vice-presidente de la Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales.

EDUARDO SANTELLANO ESTRADA. Ingeniero Agrónomo Zootecnista por la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo Estado de México. Maestro en Ciencias en Producción Animal Tropical por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en Ciudad Victoria, Tamaulipas. Doctor en Recursos Genéticos y Productividad por el Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Titular del Centro de Extensión e Innovación Rural del Noroeste (CEIR Noroeste) de la UACH (2010 a 2016). Coordinador General del Centro de Vinculación para el desarrollo Sustentable de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH (2014 a 2017). Titular del Centro Estatal de Evaluación de la UACH (2010 a 2016). Profesor-Investigador en la Facultad de Zootecnia y Ecología (2007 a la fecha). Cursos impartidos: Estadística, Métodos Estadísticos, Diseño de Experimentos, Técnicas Multivariadas, Genética General, Mejoramiento Animal. Líneas de Investigación y trabajo desarrollado en Problemática y Soluciones Ambientales, Diseño y Evaluación de Política Pública, Esquemas de Conservación y Mejoramiento Genético, Desarrollo Sustentable Integrativo. Autor y coautor de más de 20 artículos internacionales en revistas indexadas. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel 1 (2008 a 2016 y 2019-2021).

ALICIA MELGOZA CASTILLO. Terminó su licenciatura en 1977, año en que le fue otorgado el título de Biólogo por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). El grado de Maestro en Ciencias en el área de Ciencia de Pastizales lo obtuvo en 1985 por la Universidad Estatal de Arizona y el grado de Doctor en Filosofía en 1995 en el área de ecología de pastizales por la Universidad Estatal de Nuevo México. Los trabajos que ha tenido son: ayudante en laboratorio de fitología (1975-1976), maestra del ITESM (1977), investigador del INIP (posteriormente INIFAP, 1978-1982 y 1985-2007) y ayudante de investigación en el USDA (1982-1985). Desde 2007 labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Entre sus distinciones están las otorgadas por: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Society for Range Management, Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales, SIN y Prodep. Su área de especialización es ecofisiología y propagación de plantas nativas. Ha dirigido 12 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 4 de doctorado. Es autora de 80 artículos científicos, más de 100 ponencias en congresos y 10 capítulos de libros; alrededor de 500 citas de sus trabajos. En total ha sido responsable de más de 15 proyectos con financiamiento internacional, nacional y regional. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT, Fundación Produce Chihuahua, Prodep, entre otros. Además, es revisor de artículos para Elsevier, y editor asociado de la revista *The Southwestern Naturalist*, entre otras revistas nacionales y locales. Pertenecer a dos asociaciones científicas internacionales 4 nacionales.

MANUEL POMPOSO ALARCÓN BUSTAMANTE. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques por la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Realizó su postgrado en México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Programa Forestal 1999 por el Colegio de Postgraduados. Desde 1982 labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y posee la categoría de Investigador titular C. Su área de especialización es la producción de planta de buena calidad en vivero, plantaciones forestales y mejoramiento genético forestal. Ha dirigido dos tesis de licenciatura y una de maestría. Es autor de 7 artículos científicos, más de 25 ponencias en congresos, y 3 capítulos de libros técnicos; además ha impartido 22 conferencias por invitación y ha dirigido 14 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Ha participado como evaluador de proyectos de investigación de la Fundación Produce Chihuahua y de otras fuentes financieras.

MARTÍN MARTÍNEZ SALVADOR. Terminó su licenciatura en 1997, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo/Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Realizó su postgrado en México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Forestales en el Programa Forestal 2001 por la Universidad Autónoma Chapingo. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en 2005 en el área de uso manejo y preservación de los recursos naturales en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. De 2002 a 2016 laboró como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de 2016 a la fecha labora en la Facultad de Zootecnia de la UACH y posee la categoría de Académico titular B. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2010 a la fecha (Nivel 1). Su área de especialización es el Manejo de los Recursos Forestales. Ha concluido 5 tesis de licenciatura, 5 de maestría y 2 de doctorado. Es autor y coautor de más de 25 artículos en revistas indexadas y arbitradas, 7 capítulos en libro, y más de 40 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales Sagarpa-Conacyt, y árbitro de seis revistas científicas de circulación internacional.