

ZONAS SEMILLERAS DE *PINUS GREGGII* VAR. *AUSTRALIS* EN HIDALGO, MÉXICO*PINUS GREGGII* VAR. *AUSTRALIS* SEED ZONES IN HIDALGO, MÉXICO

Joel Hernández-Martínez<sup>1</sup>, Javier López Upton<sup>2\*</sup>, J. Jesús Vargas Hernández<sup>2</sup>  
y Jesús Jasso Mata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Comisión Nacional Forestal, Región IX, Gerencia Estatal Hidalgo. Ave. 11, esq. Ave. 4, Col. Plutarco Elías. 42035, Pachuca, Hgo. Tel. 01 (771) 718-0308.

<sup>2</sup>Programa Forestal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5. Carr. México.-Texcoco. 56230, Montecillo, Edo. de México. Tel y Fax: 01 (595) 952-0256.

\* Autor para correspondencia (uptonj@colpos.mx)

## RESUMEN

Con el propósito de establecer zonas semilleras y evitar el movimiento inadecuado de la semilla en programas de plantaciones, 44 poblaciones naturales de *Pinus greggii* var. *australis* en el Estado de Hidalgo se agruparon con base en nueve variables biofísicas. El análisis de agrupamiento discriminó geográficamente dos grandes grupos de poblaciones. La zona I es de clima templado-subhúmedo, con precipitaciones entre 600 y 1200 mm anuales y temperaturas medias de 14 a 19 °C; se localiza en la zona alta del oeste del estado, entre 1600 y 2700 msnm, con suelos de textura arcillosa, y pH promedio de 6.6, en donde existen bosques de pino-encino, de pino-enebro y de pino. La zona II corresponde a las poblaciones localizadas en el oriente del estado, en clima templado húmedo y semicálido húmedo, con precipitaciones de 1300 a 2500 mm anuales y temperaturas medias de 17 a 21.5 °C; se ubica en la región de barlovento, entre 1200 y 1700 msnm; con suelos de textura franco-arcillosa y pH promedio de 4.3, en donde existe bosque mesófilo de montaña. En la zona I se identificaron cinco grupos y en la Zona II cuatro grupos de poblaciones, según sus similitudes. En sentido estricto la semilla debe moverse dentro de cada grupo de poblaciones; el riesgo de mala adaptación, escasa supervivencia o baja productividad, es mayor al transferirse entre poblaciones de distintos grupos dentro de zona y aumenta considerablemente si se transfiere entre poblaciones de las dos zonas.

**Palabras clave:** *Pinus greggii*, agrupamiento de poblaciones, genecología, metapoblación, movimiento geográfico de semilla.

## SUMMARY

In order to establish seed production zones and to avoid inappropriate seed movement for operational plantations, 44 populations of *Pinus greggii* var. *australis* from the state of Hidalgo, were located and clustered based on data from nine biophysical variables. The cluster analysis geographically discriminated two major population groups. Zone I has sub-humid temperate climate with annual precipitation between 600 and 1200 mm, mean temperatures between 14 and 19 °C, at elevations from 1600 to 2700 masl and is located in western Hidalgo. Soils have predominately clay textures with average pH values of 6.6 and covered by pine, pine-oak and pine-juniper forest types. Zone II is characterized by humid-temperate and humid-semi-tropical climates, with annual precipitation from 1300 to 2500 mm, mean temperatures of 17 to 21.5 °C, elevations between 1 200 to 1 700 masl, and is comprised of populations located at the eastern part of the state. Soils

predominately have loam and clay loam textures with pH values around 4.3, and a vegetation type of mountain-cloud forest. A further subdivision generated five subgroups for Zone I and four subgroups for Zone II, based on biophysical similarities. In restricted sense seed must be used inside each group of populations. Risk of poor adaptation, i.e. low survival or reduced productivity, increase when seed is moved among populations from different groups inside zones and much more if transference is among populations from the two zones.

**Index words:** *Pinus greggii*, populations, clustering, genecology, metapopulation, geographic seed transfer.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus greggii* Engelm. es una de las especies forestales más plantada en México y cuenta con gran potencial para plantaciones comerciales en varias regiones templado-cálidas del mundo (Dvorak y Donahue, 1993; Donahue y López-Upton, 1996; Dvorak *et al.*, 2000); también es útil para condiciones limitantes de humedad (Vargas y Muñoz, 1988; Hernández *et al.*, 2001). *P. greggii* Engelm. var. *australis* Donahue & Lopez, es uno de los tres taxa forestales más importantes en el Estado de Hidalgo, donde se utiliza para establecer plantaciones comerciales y restauración de ecosistemas (Com. personal)<sup>1</sup>.

Sin embargo, las poblaciones naturales de esta especie son afectadas por la deforestación, proceso que las erosiona genéticamente, limita la variabilidad y reduce la cuantía de genotipos superiores (Jasso y López, 1991). *P. greggii* se encuentra en pequeñas poblaciones relativamente aisladas entre sí (Ramírez *et al.*, 2005), en una estructura similar a metapoblaciones (Mosseler, 1995). Aunque en este tipo de estructura se permite cierto intercambio genético entre poblaciones, la disminución de su tamaño poblacional y de su variabilidad genética pueden encaminar a la

<sup>1</sup> Ing. Armando Bello. Programa Nacional de Reforestación. Comisión Nacional Forestal.

desaparición local o propiciar la pérdida irreparable de genes valiosos (Parraguirre *et al.*, 2002).

Para contrarrestar el efecto de la deforestación, surge la necesidad de establecer plantaciones comerciales y de restaurar ecosistemas. La adecuada identificación de la procedencia del germoplasma es un factor importante en el éxito de éstas. Algunas zonas del Estado de Hidalgo están siendo reforestadas por el Programa Nacional de Reforestación (PRONARE), pero sin tener un control completo y adecuado de la fuente de semilla. La zona forestal que cubre *P. greggii* en Hidalgo presenta valores de precipitación muy dispares (Ramírez *et al.*, 2005), lo que puede afectar el éxito de las plantaciones si no se utiliza una fuente adecuada de semilla.

Adams *et al.* (1992) señalaron la importancia de establecer subdivisiones geográficas de las poblaciones de una especie, que presenten características ambientales similares y agrupen poblaciones panmícticas de individuos potencialmente reproducibles con una constitución genética similar, para evitar la depresión exogámica en poblaciones locales. Un mejor control del acervo genético de la especie permite utilizar material de la zona adecuada y reducir los problemas de adaptación en las plantaciones. Esta metodología se conoce como “zonificación semillera” (Campbell, 1991; Morgenstern, 1996). Las zonas semilleras son subdivisiones geográficas de la distribución natural de las especies con condiciones ambientales similares y se encuentran geográficamente cercanas unas de otras. Con esto se busca utilizar para plantaciones las características intrínsecas de las poblaciones nativas y adaptadas al sitio de plantación. Las zonas semilleras tienen el propósito fundamental de conservación y no para maximizar crecimiento (Morgenstern, 1996).

A pesar del trabajo de Ramírez *et al.* (2005), no se tiene un listado completo de las poblaciones de *P. greggii* en Hidalgo. Por ello, a través de esta investigación se pretende reconocer las poblaciones naturales de *P. greggii* en este estado y agruparlas en función de algunas variables ambientales, con el fin de planear movimientos adecuados de germoplasma y delimitar zonas provisionales de producción de semilla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se hizo en el área conocida de distribución natural de *P. greggii* var. *australis* en el Estado de Hidalgo (Donahue y López-Upton, 1999; Dvorak *et al.*, 2000; Ramírez *et al.*, 2005), y también se exploraron zonas intermedias entre las poblaciones hasta entonces reportadas, para encontrar nuevas localidades de este pino. Se consideró como una población al grupo de árboles que crecen de manera natural en un determinado lugar, y que presentan discontinuidad con otro grupo de individuos de la misma especie. Se determinaron las coordenadas geográficas de cada población

con un receptor GPS (Garmin 12XL). Se registró la coordenada central y dos o tres vértices del polígono de las poblaciones para delimitar las poblaciones en las cartas topográficas del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) en escala 1: 50 000. Las poblaciones se delimitaron sobre las cartas topográficas de Jacala (F14C49), San Joaquín (F14C58), San Nicolás (F14C59), Tasquillo (F14C69), Calnali (F14D52), Molango (F14D51) y Pahuatlán de Valle (F14D73) con auxilio de accidentes topográficos como cañadas, río y montañas, o bien de caminos. El receptor GPS utilizó el DATUM ITRF 92, que es el adoptado por el INEGI en sus cartas. La altitud de cada localidad se determinó con un altímetro. Con la información de INEGI (1992) se obtuvo la temperatura media, la precipitación media anual, y el tipo de clima según García (1967).

En cada población se establecieron cinco sitios circulares de muestreo con un área de 1000 m<sup>2</sup> cada uno. Cuando las poblaciones eran muy pequeñas se redujo el número de sitios. Se utilizó el método de muestreo simple aleatorio. Se registró el número de individuos de *P. greggii* por sitio, y se agruparon en tres categorías: renuevos (menores de 2 m de altura), juveniles (de 2 a 5 m) y maduros (mayores de 5 m), de acuerdo con el procedimiento de Ramírez *et al.* (2005). Asimismo, se identificaron y registraron otras especies arbóreas y arbustivas asociadas. En cada sitio se obtuvo una muestra de suelo del horizonte superior (15-35 cm de profundidad), cuyo análisis se efectuó en el Laboratorio Central de la Universidad Autónoma Chapingo. De estas muestras se determinó el pH en solución acuosa, y la textura mediante el método de Bouyucos. El tipo de unidad primaria de suelo se determinó en las cartas edafológicas (INEGI, 1992).

Mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc-View 3.2, se digitalizaron los contornos de las poblaciones delimitadas en las cartas topográficas de INEGI. Esta información se sobrepuso a capas de información vectorial elaborada por INEGI (cartas topográficas F1402, F1408 y F1411, escala 1:250 000, en formato digital) para generar un mapa de distribución de la especie dentro de la entidad.

Se hizo un análisis de agrupamiento con el procedimiento CLUSTER opción estándar (EST) y el método de ligamiento promedio de SAS (SAS Institute, 1998); el primero utiliza la estandarización por media cero y desviación estándar igual a uno. Dicho análisis se basó en nueve variables geográficas y biofísicas: latitud, longitud, elevación, temperatura media anual, precipitación media anual, clima, principal especie arbórea asociada (utilizada como especie indicadora), pH y textura de suelo. Una vez obtenido el dendrograma y la agrupación de las poblaciones más afines, se realizó la delimitación de las zonas semilleras en mapas topográficos escala 1:50 000 (INEGI, 1988). Esto se hizo considerando barreras naturales y siguiendo las curvas de nivel identificadas en cartas topográficas y digitalizadas.

## RESULTADOS

Distribución de *Pinus greggii* en Hidalgo

Se ubicaron 44 poblaciones localizadas entre los 20° 21' 32" y 21° 05' 00" LN y entre los 98° 10' 30" y 99° 20' 40" LO (Cuadro 1), con un patrón de distribución en forma de una franja que corre de Oeste a Este, y una marcada discontinuidad de norte a sur, lo que genera dos grupos distintivos de poblaciones (Figura 1). Las poblaciones variaron altitudinalmente de 1200 a 2700 m, con una media de 1845 m y ocurren en siete tipos climáticos (García, 1967; INEGI, 1992). *P. greggii* cubre un área aproximada de 8700 ha en Hidalgo (promedio de cerca de 198 ha por

población). Laguna Seca, en Jacala, resultó ser la de mayor extensión con 1202 ha, lo que representa 13.8 % del total, y Trancas, en Zimapán, como la de menor extensión con sólo 5 ha.

**Cuadro 1. Ubicación geográfica y superficie aproximada de las poblaciones naturales de *Pinus greggii* var. *australis* en el Estado de Hidalgo, México.**

Población	Municipio	Latitud <sup>1</sup>	Longitud <sup>1</sup>	Altitud (m) <sup>1</sup>	Superficie (ha) <sup>2</sup>
1. Los Duraznos	Jacala	21° 05' 00"	99° 08' 34"	1600	743.1
2. Laguna Seca	Jacala	21° 04' 00"	99° 10' 00"	1720	1201.9
3. Tlanchinol	Tlanchinol	20° 59' 21"	98° 39' 12"	1620	107.9
4. El Piñón	Jacala	20° 56' 39"	99° 12' 17"	1830	353.2
5. Picos Tlanchinol-Lolotla	Tlanchinol-Lolotla	20° 56' 35"	98° 41' 00"	1750	153.3
6. El Ocotil	Tlahuiltepa	20° 55' 00"	98° 58' 00"	2000	148.0
7. Plomosas	Jacala	20° 54' 53"	99° 11' 00"	1700	98.0
8. Mesa de la Cebada	Jacala	20° 54' 24"	99° 11' 00"	2090	16.2
9. Acapa	Tlahuiltepa	20° 54' 12"	98° 55' 00"	2000	233.6
10. Calnali	Calnali	20° 53' 52"	98° 37' 40"	1200	100.2
11. El Cobre-Mesa de Andrade	Nicolás Flores	20° 53' 16"	99° 10' 22"	2100	707.2
12. Contepec	Lolotla	20° 52' 50"	98° 39' 39"	1400	231.5
13. Tlaxcantitla	Tlahuiltepa	20° 52' 31"	98° 54' 08"	2000	57.5
14. Agua Zarca	Tlahuiltepa	20° 50' 34"	98° 54' 27"	1900	374.9
15. Codornices	Zimapán	20° 50' 32"	99° 19' 08"	1845	10.7
16. Santa María	Juárez	20° 50' 31"	98° 52' 03"	1900	374.0
17. Tepeyica	Juárez	20° 50' 03"	98° 54' 22"	2000	245.9
18. La Yerbabuena	Zimapán	20° 49' 29"	99° 20' 39"	1900	106.6
19. Agua del Cuervo	Tlahuiltepa	20° 49' 26"	98° 55' 14"	1800	96.7
20. Pemuxtita	Molango	20° 49' 00"	98° 45' 38"	1370	68.7
21. San Bernardo	Molango	20° 48' 55"	98° 43' 36"	1520	192.5
22. Llanitos	Zimapán	20° 48' 39"	99° 19' 17"	2000	45.7
23. Xodhé	Zimapán	20° 48' 15"	99° 20' 36"	1950	63.2
24. Laguna Atezca	Molango	20° 48' 14"	98° 44' 17"	1350	69.7
25. Trancas	Zimapán	20° 48' 06"	99° 15' 52"	2080	5.1
26. La Laguna	Nicolás Flores	20° 48' 00"	99° 10' 36"	1880	5.5
27. Jalamelco	Xochicoatlán	20° 47' 37"	98° 41' 32"	1850	88.6
28. Juárez	Juárez	20° 47' 27"	98° 49' 10"	1700	413.0
29. Acatepec	Xochicoatlán	20° 47' 26"	98° 36' 53"	1630	246.7
30. La Ruda	Zimapán	20° 47' 21"	99° 15' 52"	2000	9.2
31. Almoloya	Eloxochitlán	20° 45' 21"	98° 46' 43"	2000	52.9
32. Jonacapa	El Cardonal	20° 45' 16"	99° 01' 27"	1660	59.2
33. Cieneguillita	El Cardonal	20° 45' 00"	99° 03' 00"	2000	639.6
34. Cieneguilla	El Cardonal	20° 44' 37"	99° 02' 00"	2000	138.2
35. Malila	Molango	20° 44' 30"	98° 42' 32"	1600	255.8
36. Villa Hermosa	Nicolás Flores	20° 43' 52"	99° 08' 29"	1960	15.7
37. La Rosa	El Cardonal	20° 43' 09"	99° 07' 32"	2320	17.9
38. La Unión	El Cardonal	20° 43' 05"	99° 05' 19"	2100	371.5
39. Texcadhó	Nicolás Flores	20° 42' 34"	99° 12' 10"	2600	54.2
40. La Cañada	El Cardonal	20° 42' 06"	99° 01' 17"	2070	128.5
41. La Palma	Ixmiquilpan	20° 38' 40"	99° 14' 47"	2700	41.7
42. La Venta	San Bartolo	20° 26' 45"	98° 15' 20"	1750	7.2
43. El Progreso	San Bartolo	20° 23' 27"	98° 14' 40"	1500	74.8
44. Tenango	Tenango	20° 21' 32"	98° 12' 39"	1400	292.9

<sup>1</sup> Datos obtenidos en el centro de la población. <sup>2</sup> Estimadas mediante Arcview 3.1 en mapas escala 1:50 000.

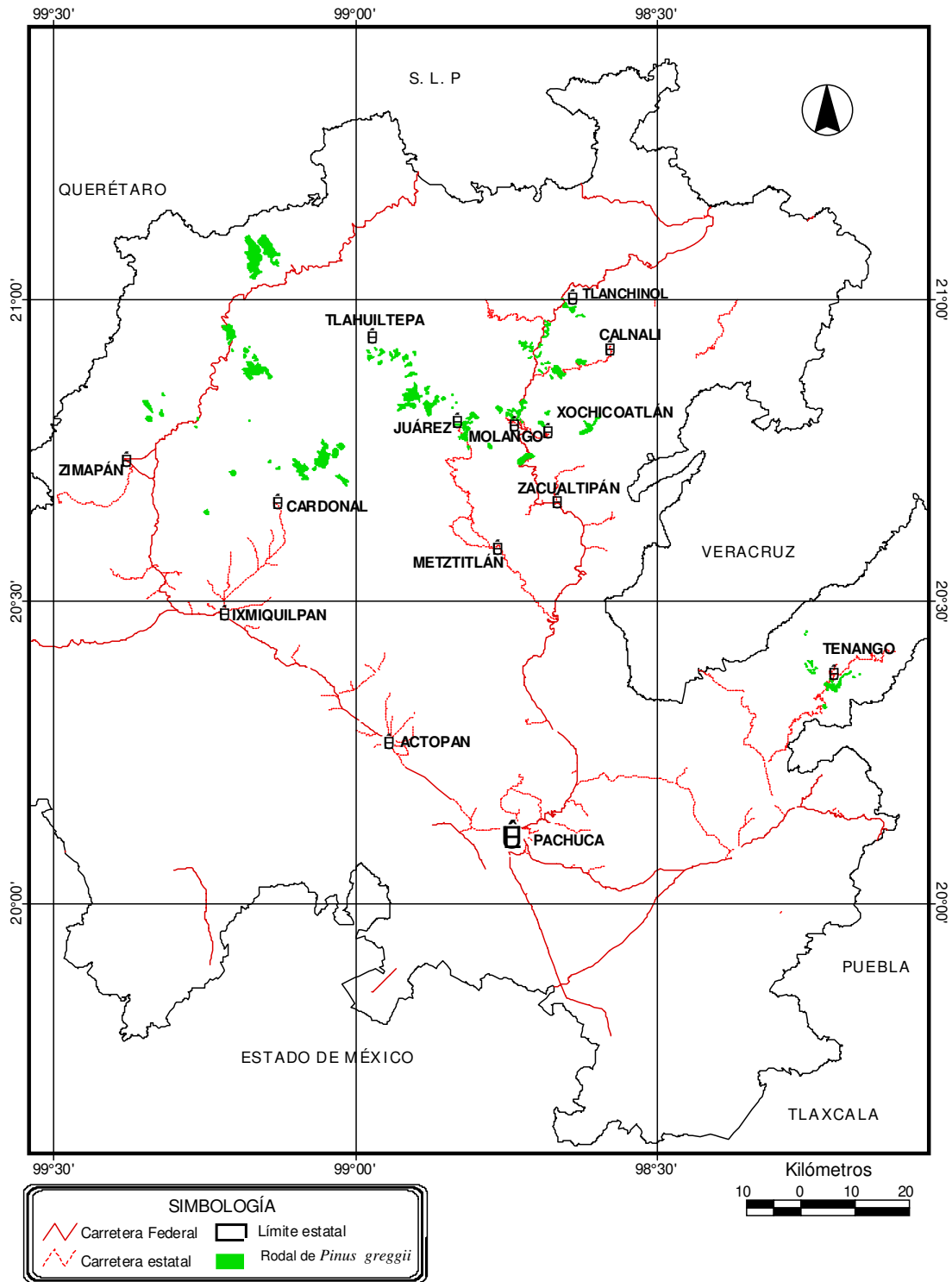


Figura 1. Distribución natural de *Pinus greggii* var. *australis* en el Estado de Hidalgo.

### Agrupación de las poblaciones

El análisis de agrupamiento separó a las poblaciones de *P. greggii* en dos grandes grupos (zonas), uno localizado en zona templada subhúmeda (I) y otro en la zona semicálida húmeda (II). Al realizar un corte a una distancia euclidiana de 0.6 resultan nueve grupos, cinco para la zona templada subhúmeda y cuatro para la zona semicálida (Figura 2, Cuadro 2). De acuerdo con el dendrograma (Figura 2) que integra información de nueve variables biofísicas, se recomienda trasladar la semilla de *P. greggii* sólo dentro de cada zona climática. Debido a las diferencias ambientales, no es recomendable transferir germoplasma de *P. greggii* de una zona a otra, hasta que exista información originada de ensayos de campo con procedencias y en un ambiente común, que demuestre lo contrario. Sin embargo, en un sentido estricto, dicho traslado debería hacerse preferentemente dentro de grupos (Cuadro 2), que primordialmente son las poblaciones geográficamente más cercanas.

La zona I incluye las poblaciones de clima templado subhúmedo que se ubican a elevaciones medias y altas de la Sierra Madre Oriental, entre 1600 y 2700 msnm. La precipitación media anual de esta zona varía de 600 a 1200 mm, y la temperatura media oscila entre 14 y 19 °C. Los suelos

están dominados por Luvisoles, Leptosoles y Regosoles (INEGI, 1992), con textura arcillosa y pH promedio de 6.6. *P. greggii* forma parte de las comunidades de pino-encino, de encino-pino y de pino-enebro. El área que cubre la especie en esta zona representa 78 % del total en el estado. De las poblaciones de esta zona 84 % se encuentra preferentemente con exposición al norte, con una pendiente media de 49 %.

En la zona I el arbolado en general se encontró en buenas condiciones; en 77 % de las poblaciones los árboles están vigorosos y con fuste recto. La altura media de los árboles fue de 14 m, con individuos hasta de 20 m. Se encontró una regeneración promedio de 0.59 renuevos por árbol adulto. De las poblaciones de esta zona, 39 % se encontró adecuadamente conservada, sin alteraciones y disturbios evidentes. En 19 % se observaron evidencias de alteraciones humanas como tala, pastoreo y daños por apertura de caminos. En otro 19 % se observaron evidencias de algún disturbio por incendios y plagas. El 23 % de las poblaciones restantes se encontró con algún grado de fragmentación por causas no determinadas.

**Cuadro 2. Grupos de poblaciones de *Pinus greggii* var. *australis* por zona semillera, según el análisis de agrupamiento.**

Zona I		Zona II	
<b>I.1</b>	<b>I.4</b>	<b>II.1</b>	
Los Duraznos	El Ocotal	Acatepec	
Laguna Seca	Acapa	Picos Tlanchinol-Lolotla	
	Tepeyica	Tlanchinol	
<b>I.2</b>	Tlaxcantitla		
Codornices	Santa María	<b>II.2</b>	
Trancas	Juárez	Pemuxtilla	
La Ruda	Almoloya	Laguna Atezca	
La Laguna		San Bernardo	
El Piñón		Jamelco	
Plomosas	<b>I.5</b>	Malila	
Mesa de la Cebada	Villa Hermosa		
El Cobre-Mesa de A.	La Unión	<b>II.3</b>	
	La Rosa	Contepec	
<b>I.3</b>	Texcadhó	Calnali	
Agua del Cuervo	La Palma		
Agua Zarca		<b>II.4</b>	
Jonacapa		La Venta	
La Cañada		El Progreso	
Cieneguilla		Tenango	
Cieneguillita			
La Yerbabuena			
Xodhé			
Llanitos			

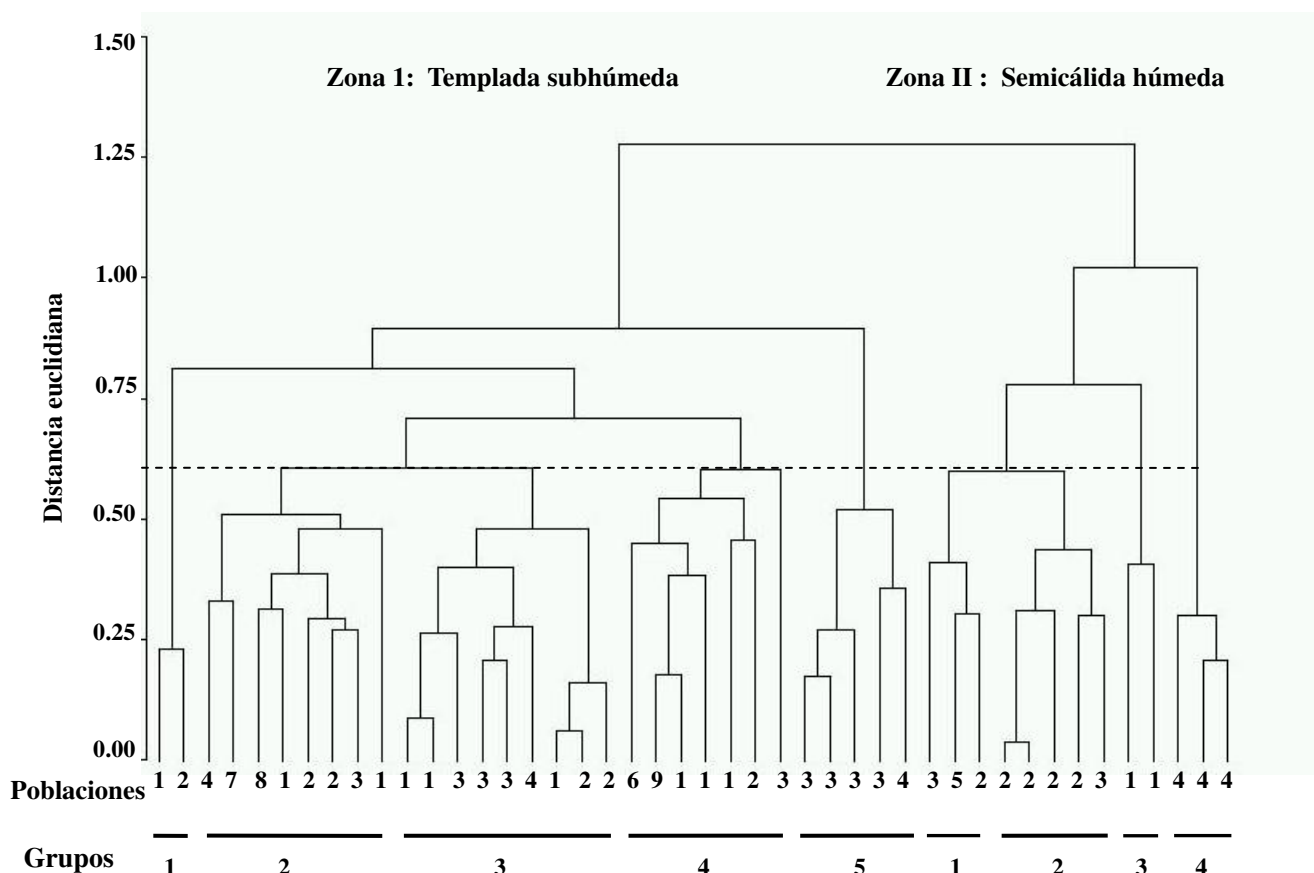


Figura 2. Dendrograma para las poblaciones de *Pinus greggii* var. *australis* localizadas en el Estado de Hidalgo, basado en un análisis de conglomerados de nueve variables biofísicas.

La zona II incluye poblaciones de climas templado húmedo y semicálidos, localizadas en la vertiente Este de la Sierra Madre Oriental (Figura 3), entre 1200 y 1700 msnm, en donde se presenta el bosque mesófilo de montaña en la zona de barlovento, con una alta precipitación de 1300 a 2500 mm anuales y una temperatura promedio que oscila entre 17 y 21.5 °C. Las unidades primarias de suelo corresponden a las unidades Regosol, Feozem y Cambisol (INEGI, 1992), con textura franca y franca arcillosa y pH de 4.3. El tipo de vegetación es el de bosque mesófilo de montaña. El área que ocupa *P. greggii* en esta zona representa 22 % del total en el estado.

En la zona II no se observó una preferencia clara de la especie en cuanto a exposición, pues la humedad no es un factor limitante como lo es en la zona I, aunque es frecuente que *P. greggii* ocupe y domine la cima de las colinas o pequeños picos donde han ocurrido disturbios. La pendiente media es de 51 %. El 77 % de las poblaciones en esta zona mostró árboles relativamente jóvenes, vigorosos y de fuste

recto, con una altura media de 12 m. No se observó regeneración, debido quizás a que con frecuencia se presentan grupos de árboles en alta densidad, que no permiten la entrada de luz en el sotobosque. Sin embargo, se observaron renuevos en espacios abiertos aledaños, especialmente donde ocurrió un disturbio, ya sea por incendio, desmonte o derrumbes, lo que indica que *P. greggii* es una especie pionera en estas regiones. El 85% de las poblaciones en la zona II se encuentra con diversos grados de fragmentación o perturbación y sólo 15 % se encontró en buen estado. El daño a los bosques de esa zona se debe a que han sido generalmente sustituidos por pastizales y agricultura de subsistencia, y en menor porcentaje por aprovechamientos forestales domésticos.

### DISCUSIÓN

En el Estado de Hidalgo *P. greggii* var. *australis* crece en las altitudes medias y altas de la Sierra Madre Oriental, en las zonas de barlovento y de sotavento. La topografía y

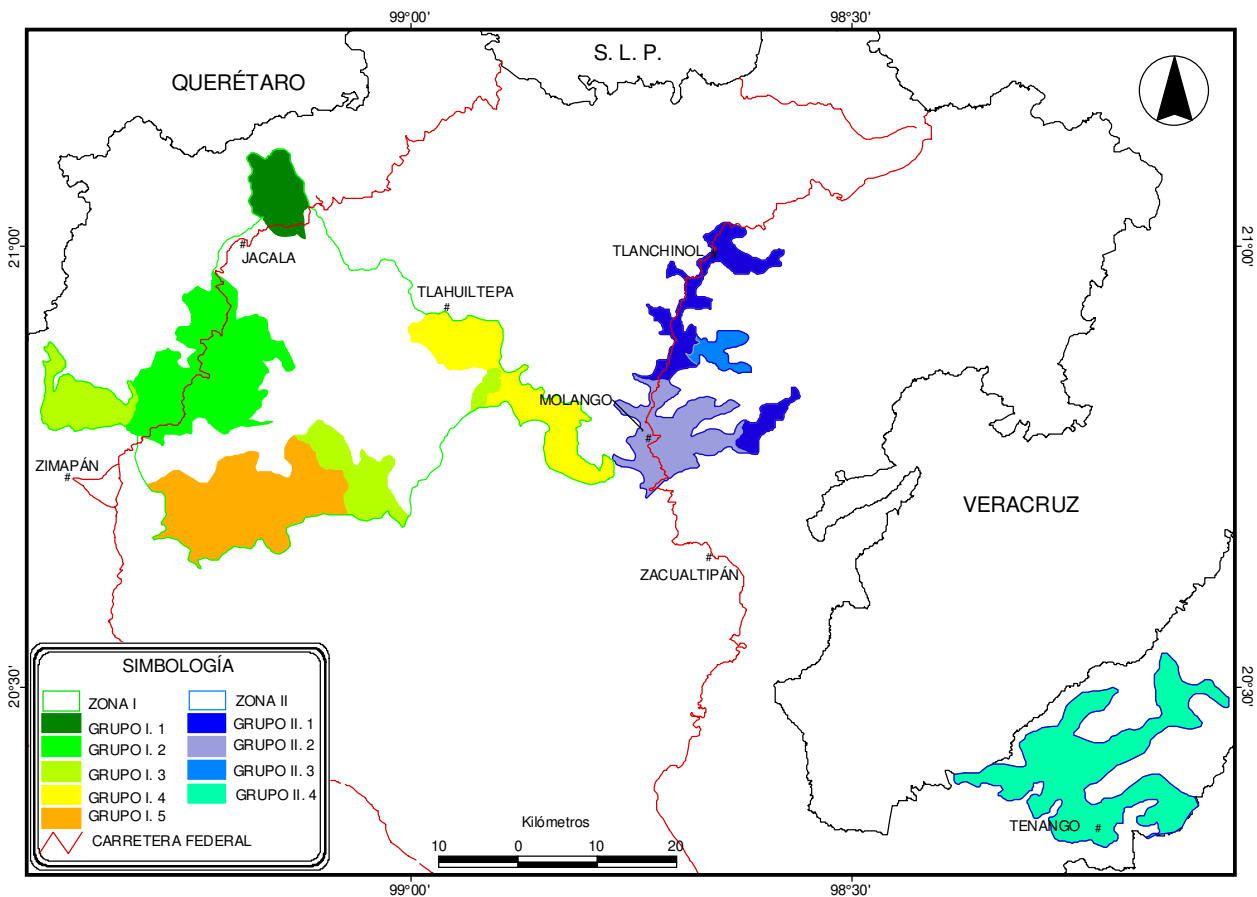


Figura 3. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* propuestas para el estado de Hidalgo.

la altitud dentro de esta región generan una gran diversidad de ambientes (López-Upton y Donahue, 1995). La superficie promedio obtenida por población (198 ha) es baja si se compara con las grandes extensiones de otras especies de pino. Esto se debe a la estructura de metapoblaciones que presenta la especie al parecer de manera natural, que ha sido magnificada por las actividades humanas, principalmente por el cambio de uso del suelo y los aprovechamientos maderables, que han fragmentado los rodales naturales y ocasionando que las poblaciones remanentes ahora se observen en forma de pequeños mosaicos o manchones de unos cuantos árboles (López *et al.*, 1993; Ramírez *et al.*, 2005).

Campbell (1991) y Morgenstern (1996) indicaron que la evolución de las poblaciones nativas de una especie en una región ha sido moldeada por factores ecológicos, especialmente climáticos, a través de la selección natural; agregaron que el establecimiento de zonas semilleras mediante criterios biofísicos es aceptable para los programas de reforestación.

López *et al.* (1993) estudiaron la variación de 13 características morfológicas en conos y semillas de 11 poblaciones de *P. greggii* de todo el país, e incluyeron un análisis de agrupamiento. Al considerar sólo a las tres poblaciones provenientes del Estado de Hidalgo, las poblaciones de zonas templadas-subhúmedas se separaron con respecto a la de la zona templada húmeda y semi-cálida (de la zona II). Asimismo, en ensayos de campo se ha encontrado que la población de Laguna Atezca (de la zona II) tiene mayor tasa de crecimiento que la de El Piñón y Xodhé (en la zona I) en un ambiente semitropical (López-Upton *et al.*, 2004), y menor crecimiento en un ambiente frío (Azamar *et al.*, 2000).

La zona I tiene un clima templado y por estar en la parte alta y de sotavento de la Sierra Madre Oriental no presenta altas precipitaciones, ya que la mayoría de éstas ocurren antes de llegar a esta región. *P. greggii* se encuentra en terrenos predominantemente orientados hacia el norte o en cañadas. Las especies arbóreas abundante son *Juniperus flaccida*

Schltl. var. *flaccida*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* Mtz., y *P. cembroides* Zucc.

La zona II tiene clima semi-cálido con altas precipitaciones por estar en la región de barlovento de la Sierra Madre Oriental. Esta región se caracteriza por la ausencia de heladas, la presencia de neblina durante gran parte del año y una alta humedad atmosférica (Rzedowski, 1978); por ello, las especies arbóreas dominantes son latifoliadas como *Liquidambar styraciflua* L., *Alnus acuminata* ssp. *arguta* (Schlecht) Furlow HBK y varias especies del género *Quercus*. Con excepción de unos pocos individuos de las especies *P. oocarpa* Schiede var. *oocarpa* y *P. patula* Schiede var. *patula*, no se observó a otra Pinacea en esta zona.

Los valores de pH más ácidos en el suelo se encontraron en la zona húmeda (II) y los más alcalinos en la zona templada (I), lo cual era de esperarse ya que a medida que aumenta la precipitación, baja el pH como resultado del agotamiento de cationes básicos (Fitzpatrick, 1985). Asimismo, una mayor cantidad de materia orgánica induce acidez y entre mayor cobertura vegetal tenga un área mayor materia orgánica se produce y habrá mayor acidez como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa de hojarasca y la consiguiente lixiviación de bases del suelo mineral superficial (Pritchett, 1990). Así, el pH encontrado en las poblaciones de *P. greggii* varió de 3.7 a 8, de ácido a ligeramente alcalino. Esto también debe tomarse en cuenta al momento de trasladar la semilla. Zobel y Talbert (1984) recomendaron no plantar procedencias de suelos alcalinos en suelos ácidos, ya que la acidez reduce la disponibilidad de ciertos nutrientes; tampoco de suelos con textura arcillosa a suelos con textura arenosa o viceversa, ya que tienen diferentes grados de retención de humedad.

También se observó una diferencia promedio entre las dos zonas de casi 1000 mm en la precipitación anual, 1.2 °C en la temperatura media y 500 m en la altitud, lo que indica ambientes diferentes. Por tal razón, no es recomendable el intercambio de semilla entre estas dos zonas hasta no realizar pruebas de desarrollo en campo (ensayos de procedencias o ensayos de ambiente común) que indiquen lo contrario.

En regiones ubicadas a mayores latitudes, la altitud ha sido una de las variables más utilizadas en la delimitación de las zonas semilleras debido a las diferencias marcadas que ésta ocasiona sobre el patrón de crecimiento de los árboles (Rehfeldt, 1989). En el presente caso, la diferencia altitudinal entre ambas zonas es considerable (500 m), situación que debe considerarse importante al momento de trasladar la semilla a zonas con elevaciones tan diferentes a las de su origen. Según Zobel y Talbert (1984), no se deben trasladar procedencias de mayor a menor altitud y viceversa, ya que las primeras son por lo general de crecimiento lento aunque de buena forma, por lo que se perdería pro-

ducción, y las segundas serían de crecimiento rápido con ramas gruesas y fustes retorcidos y menos tolerantes a las bajas temperaturas. En este caso es posible que los individuos de la zona II sean menos resistentes a la sequía y al daño por heladas que los de la zona I, por lo que su utilización en ambientes limitantes de humedad o menores temperaturas no sería recomendable.

La agrupación obtenida de cuatro grupos para la zona semicálido-húmeda (zona II) y cinco grupos de poblaciones en la zona templada (zona I), indica que en sentido estricto no deben mobilizarse semillas entre esos grupos, sino sólo dentro de ellos. Alden (1991) mencionó que las poblaciones de árboles de sitios extremos pueden presentar un bajo potencial de crecimiento en sitios con ambientes intermedios, mientras que las poblaciones de ambientes intermedios pueden mostrar una menor supervivencia en sitios con ambientes extremos. Por lo anterior, la semilla sólo debe trasladarse a sitios con ambientes similares, aún dentro de las mismas zonas. Por ejemplo, no debiera utilizarse semilla de Laguna Seca o Los Duraznos (grupo I.1) para establecer plantaciones en Villa Hermosa, La Unión, La Rosa, Texcadhó, o La Palma (grupo I.5), porque los primeros son sitios de baja elevación (1600 a 1720 m) y los segundos de alta elevación (1960 a 2700 m).

La zonificación aquí propuesta puede servir como indicación inicial del lugar apropiado para colectar semilla de *P. greggii* para plantaciones fuera del hábitat natural, al homologuear condiciones ambientales del sitio de colecta con las condiciones del lugar a plantar. Sin embargo, tanto la zonificación definitiva como las procedencias adecuadas para las plantaciones *ex situ*, deben establecerse hasta que se hayan realizado estudios de procedencias, donde todas estas poblaciones sean evaluadas en ambiente común para determinar su nivel de adaptación y crecimiento.

## CONCLUSIONES

*Pinus greggii* se ubica en la Sierra Madre Oriental y posee una gran adaptabilidad natural, ya que se encontró en una gran variedad de microambientes que incluyen siete tipos climáticos en una amplitud altitudinal de 1200 a 2700 m. Se determinaron 44 poblaciones que habitan dos grandes regiones, la templado- subhúmeda (zona I) y la zona semicálida húmeda (zona II), por lo cual se proponen dos grandes zonas semilleras para esta especie en el Estado de Hidalgo. No se debe mover semilla de la especie entre ambas zonas, para evitar riesgos de no adaptación. El análisis de agrupamiento generó nueve grupos con mayor afinidad ambiental, de los cuales cinco corresponden a la zona I y cuatro a la zona II, por lo que en sentido estricto sólo se debe mover semilla dentro de esos grupos de poblaciones. Se recomienda evaluar la semilla de estas poblaciones en ensayos de campo (ensayos de procedencias) para evaluar su capacidad de crecimiento y adaptación para hacer una



delimitación más precisa de las zonas semilleras aquí propuestas.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Fundación Hidalgo Produce A. C. por financiar el trabajo de campo. Al Consejo Nacional para la Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero parcial hacia el mismo, bajo el proyecto P220-CCOR-904153.

### BIBLIOGRAFÍA

- Adams W T, R K Campbell, J H Kitzmiller (1992)** Genetic considerations in reforestation. *In: Reforestation Practices in Southwestern Oregon and Northern California*. S D Hobs, S D Tesch, P W Owston, R E Stewart, J C Tappeiner, G Wells (eds). Forest Research Lab. Oregon State University. pp:284-308.
- Alden J N (1991)** Provisional tree seed zones and transfer guidelines for Alaska. USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-270. 35 p.
- Azamar O M, J López U, J J Vargas H, A Plancarte B (2000)** Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a en huerto semillero. *In: 1er Congreso Nal. de Reforestación*. Montecillo, Méx. 08-10 Nov. Memorias *in extenso*, s. p. (7 p).
- Campbell R K (1991)** Soils, seed zone maps, and physiography: guidelines for seed transfer of Douglas-fir in Southwestern Oregon. *For. Sci.* 37:973-986.
- Donahue J K, J López-Upton (1996)** Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* Engelm. in native forest. *For. Ecol. Manage.* 82:145-157.
- Donahue J K, J López-Upton (1999)** A new variety of *Pinus greggii* (PINACEAE) in Mexico. *SIDA Contrib. Bot.* 18:1083-1093.
- Dvorak W S, J K Donahue (1993)** Reseña de Investigaciones de la Cooperativa CAMCORE 1980-1992. CAMCORE. Raleigh, N.C., U.S.A. 94 p.
- Dvorak W S, J E Kietzka, J K Donahue, G R Hodge, T K Stanger (2000)** *Pinus greggii*. *In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative*. NCSU, Raleigh, NC. pp:52-72.
- Fitzpatrick E A (1985)** Suelos: su Función, Clasificación y Distribución. CECSA, México. 430 p.
- García E (1967)** Apuntes de Climatología. UNAM, México, D.F. pp:82-90.
- Hernández P C, J J Vargas H, C. Ramírez H, A. Muñoz O (2001)** Variación geográfica en la respuesta a la sequía en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. *Ciencia For. Méx.* 26:61-80.
- INEGI (1988)** Atlas Nacional del Medio Físico, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México. pp:98-99, 110-111, 128-129.
- INEGI (1992)** Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 134 p.
- Jasso M J, J López U (1991)** El mejoramiento genético forestal en la conservación y restauración de áreas forestales. *In: Simposio Nacional Agricultura Sostenible: Una Opción para el Desarrollo sin Deterioro Ambiental*. 9-10 Diciembre de 1991. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. pp:203-226.
- López U J, J Jasso M, J J Vargas H, J C Ayala S (1993)** Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia S. Rec. Nat. Renov.* 3:81-95.
- López-Upton J, J K Donahue (1995)** Seed production of *Pinus greggii* in natural stands in Mexico. *Tree Planters' Notes* 46:86-92.
- López-Upton J, C Ramírez H, F O Plascencia E, J Jasso M (2004)** Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38:457-464.
- Morgenstern E K (1996)** Geographic Variation in Forest Trees; Genetic Basis and Application of Knowledge in Silviculture. UBC Press. Vancouver, British Columbia, Canada. 209 p.
- Mosseler A (1995)** Minimum viable population size and the conservation of forest genetics resources. *In: Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer*. Puri, S. (Ed.). Science Publishers. U.S.A. pp:191-205.
- Parraguirre L C, J J Vargas H, P Ramírez V, H S Azpíroz R, J Jasso M (2002)** Estructura de la diversidad genética en poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:279-287.
- Pritchett W (1990)** Suelos Forestales; Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Trad. al español por J Hurtado. Ed. Limusa. México, D. F. 634 p.
- Ramírez H C, J J Vargas H, J López U (2005)** Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Bot. Mex.* 72:1-16.
- Rehfeldt G E (1989)** Ecological adaptations in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*): a synthesis. *For. Ecol. Manage.* 28:203-215.
- Rzedowski J (1978)** Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F. pp:315-326.
- SAS Institute (1998)** SAS/STAT guide for personal computers. Version 8.0. Cary, NC, USA 595 p.
- Vargas H J J, A Muñoz O (1988)** Resistencia a sequía: crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72:197-208.
- Zobel B J, J T Talbert (1984)** Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. USA. 505 p.