

Guía para mover altitudinalmente semillas y plantas de *Pinus oocarpa*, *P. devoniana* (= *P. michoacana*), *P. pseudostrobus*, *P. patula* y *P. hartwegii* para restauración ecológica, conservación, plantaciones comerciales, y adaptación al cambio climático. Versión 4.0.

Cuauhtémoc Sáenz-Romero

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), Km 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro, Tarímbaro Michoacán 58880, México, Tel +(443) 334-0475 ext. 118, fax ext 200, csaenzromero@gmail.com

Introducción

Las poblaciones de especies de coníferas que crecen a lo largo de gradientes altitudinales (por ejemplo, a lo largo de las laderas de las montañas), en muchos casos se diferencian genéticamente y adaptan a las características ambientales de los sitios en donde crecen. Los individuos están condicionados genéticamente a crecer y reproducirse de una manera en que puedan sobrevivir a las condiciones climáticas del sitio en donde crecen las poblaciones.

Con frecuencia, poblaciones de coníferas ubicadas a menor altitud, tienen un mayor potencial de crecimiento, por estar genéticamente condicionadas a aprovechar al máximo las condiciones favorables de temperaturas que ocurren a bajas altitudes. En contraste, poblaciones de mayor altitud están genéticamente condicionadas a tener un menor crecimiento y de esa manera escapar al posible daño por bajas temperaturas que ocurren en invierno, que son más comunes a elevadas altitudes. Esto es, poblaciones de menor altitud crecen más pero son menos resistentes a heladas, y poblaciones de mayor altitud crecen menos pero son más resistentes a heladas (Rehfeldt 1988). Este patrón de adaptación también se da entre especies, no sólo entre poblaciones (Viveros-Viveros *et al.* 2007).

En México, un país montañoso con muchas especies forestales, es de gran importancia lograr un buen acoplamiento entre genotipos y ambientes. Si no, se corre el riesgo de que en reforestaciones se planten individuos que sufran por heladas o por sequía, crezcan menos de lo que podrían y tengan una elevada mortalidad, por no estar adaptadas al sitio (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004).

Cambio climático

El cambio climático, también conocido como calentamiento global, complica el encontrar un adecuado acoplamiento entre los genotipos y los ambientes, ya que generará un desfase entre los ambientes y la adaptación de las poblaciones. Una alternativa de manejo es anticiparse y realinear los genotipos a los ambientes que ocurrirá en el futuro. Esto en general se puede lograr colectando semilla, produciendo planta en vivero y reforestando en un sitio en donde ocurrirá en el futuro el clima para el cual está adaptada la población de la que se colectó la semilla. El sitio a reforestar generalmente será aproximadamente 300 m altitudinalmente más arriba de donde se colectó la semilla, si se desea acoplar con el ambiente que ocurrirá en el año 2030 (Sáenz-Romero *et al.* 2010).

Zonificación altitudinal

En el estado de Michoacán, en el centro-oeste de México, hemos estudiado los patrones de diferenciación genética entre poblaciones de pinos: *Pinus oocarpa* (Sáenz-Romero *et al.* 2006), *P. devoniana* (= *P. michoacana*) (Aguilar Aguilar, 2006; Sáenz-Romero y Tapia-Olivares, 2008), *P. pseudostrobus* (Soto-Correa, 2005; Viveros-Viveros *et al.*, 2006; Sáenz-Romero *et al.* 2011;), *Pinus hartwegii* (Viveros-Viveros *et al.*, 2009), y en el estado de Oaxaca, sur de México, los de *Pinus patula* (Ruiz-Talonia 2010, Ruiz-Talonia *et al.* 2011).

A partir de ensayos de vivero, de jardín común (ensayos de corta duración, dos a cuatro años) y de campo, hemos desarrollado una zonificación altitudinal para esas especies y una guía para decidir el movimiento de semillas y plantas para programas de reforestación con diferentes objetivos: (a) restauración ecológica (obtención de una cubierta vegetal similar a la original) y conservación de recursos genéticos forestales, (b) plantaciones comerciales (que requieren de mejoramiento genético para obtener mayores rendimientos), y (c) adaptación al cambio climático.

La zonificación consiste en dividir el rango altitudinal en que se distribuye naturalmente una especie en una región, en zonas o bandas altitudinales. La división se basa en encontrar experimentalmente la diferencia altitudinal mínima significativa que hace que dos poblaciones sean genéticamente diferentes, en base a algún carácter cuantitativo, como altura de planta o resistencia a heladas (Sáenz-Romero 2004).

En el Cuadro 1, se muestran las zonificaciones para *Pinus oocarpa*, *P. devoniana* (= *P. michoacana*), *P. pseudostrobus*, y *Pinus hartwegii* para el Estado de Michoacán y de *Pinus patula* en el Estado de Oaxaca.

Reglas para usar las Zonificaciones

Las reglas para decidir el movimiento de plantas originadas de las semillas colectadas en las zonas, dependiendo de los objetivos, son las siguientes:

(1) Si el objetivo es restauración ecológica y/o conservación de recursos genéticos forestales, para reforestar una zona se debe usar semilla de la misma zona. Por ejemplo, para *Pinus oocarpa*, para reforestar la Zona II se debe usar semilla de la Zona II. Alternativamente, se puede coleccionar semilla, producir planta en vivero y plantarla hacia arriba o hacia abajo la mitad del ancho de la zona, a partir del sitio de colecta. Por ejemplo, para *Pinus oocarpa*, se puede usar semilla ± 100 m a partir del sitio de colecta (aún si esto significa cruzar el límite de una zona).

(2) Si el objetivo mejoramiento genético, se puede usar semilla de la zona más productiva, siempre y cuando no exista evidencia de que al subir la semilla a una mayor elevación, los costos de posibles daños por heladas no sean mayores que los beneficios de un mayor crecimiento, o bien que al bajar altitudinalmente, no haya daños excesivos por sequía. Por ejemplo, para *P. oocarpa*, para establecer plantaciones forestales comerciales en la Zonas I y III (las menos productivas), se podría usar semilla de la Zona II (la más productiva).

(3) Si el objetivo es adaptación al cambio climático, se sugiere subir semilla el máximo del ancho de la zona, a partir del sitio de colecta. Por ejemplo, para *P. oocarpa* se sugiere subir semilla 200 m de altitud. La idea es acoplar los genotipos a los ambientes que ocurrirán en el futuro, sin poner en riesgo en la actualidad la sobrevivencia de las plantas. Esto se lograría no excediendo con el movimiento el equivalente a la amplitud de la zona. Alternativamente, se sugiere subir siempre 300 m de altitud. Esta recomendación general se basa en que en el año 2030 el clima será 1.5 °C más caliente que el clima contemporáneo, y considerando que por cada 100 m de mayor altitud, la temperatura desciende 0.5 °C (Sáenz-Romero et al 2010), un movimiento hacia arriba de 300 m de altitud compensaría un incremento de 1.5 °C.

Cuadro 1. Zonificación altitudinal para *Pinus oocarpa*, *P. devoniana* (*P. michoacana*), *P. pseudostrobus*, y *P. hartwegii* en Michoacán y de *Pinus patula* en Oaxaca. Se indica en **negritas** la zona con las poblaciones de mayor potencial de crecimiento.

Altitud (m)	Especie				
	<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus devoniana</i> = <i>P. michoacana</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
1050-1250	Zona I				
1250-1450	Zona II				
1450-1650	Zona III				
1600-2000	Zona I				
2000-2400	Zona II				
2100-2400	Zona I				
2400-2700	Zona II				
2700-3000	Zona III				
2400 - 2600	Zona I				
2600 - 2800	Zona II				
2800 - 3000	Zona III				
3150-3500	Zona I [§]				
3500-3850	Zona II				
Ancho altitudinal de Zona	200 m	400 m	300 m	200 m	350 m
Movimiento a partir del sitio de colecta	± 100 m	± 200 m	± 150 m	± 100 m	± 175 m
Altitud de la mejor procedencia	1255 m	1700 m	2500* m	2650 m	3250 m
Adaptación al calentamiento global [†]	200 m	400 m	300 m	200 m	350 m
Bibliografía	(a)	(b)	(c)*	(d)	(e) [§]

[†] Movimiento altitudinalmente hacia arriba, a partir del sitio de colecta.

*. § Se realizó una corrección de altitud respecto a lo publicado en: *Soto-Correa (2005) y en

§Viveros-Viveros *et al* (2009) , respectivamente. La indicada aquí es la correcta.

Bibliografía del Cuadro 1: (a) Sáenz-Romero *et al.* 2006. (b) Aguilar-Aguilar, 2006; Sáenz-Romero y Tapia-Olivares, 2008. (c) Soto-Correa, 2005; Sáenz-Romero *et al.* 2011. (d) Ruiz-Talonia 2010, Ruiz-Talonia *et al.* 2011. (e) Viveros-Viveros *et al.*, 2009.

Advertencias finales

Las sugerencias de mover fuentes de semillas, evidentemente deben considerar valoraciones en el campo. Por ejemplo, se puede sugerir mover altitudinalmente hacia arriba 300 m una fuente de semilla, pero es posible que en la nueva localidad no exista el suelo adecuado. La Zonificación está basada en la asociación entre desempeño de las plantas (cuantificado en crecimiento y resistencia a heladas) y la altitud (que en realidad es una variable que representa al clima). Hay muchos otros factores que pueden hacer fracasar o hacer exitosa una reforestación.

Las sugerencias de manejo aquí presentadas están basadas en datos experimentales, análisis estadísticos y estimaciones de cambio climático. Por la misma razón, resultados de estudios que están en curso y futuros análisis, pueden sugerir modificaciones a los lineamientos de manejo. Por ello, posiblemente habrá modificaciones en el futuro al Cuadro 1. Se sugiere visitar el sitio web en donde se mostrarán estos resultados una vez al año. La presente guía es la Versión 4.0. **Cambios respecto a la versión 3.0.** Se hicieron correcciones de altitud para la zonificación de *Pinus pseudostrobus* y se actualizó bibliografía.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR (2002-4655 y 2005-14783), del Fondo Mixto CONACYT-CONAFOR (2009-127128), de la Coordinación de la Investigación Científica, UMSNH y del Grupo de Trabajo sobre Recursos Genéticos Forestales (GTRGF), Comisión Forestal de América del Norte (COFAN), FAO, ONU.

Bibliografía

(Nota: Artículos publicados pueden obtenerse solicitándolo a: csaenzromero@gmail.com)

Aguilar Aguilar S. 2006. Variación genética altitudinal entre procedencias de *Pinus devoniana* Lindl. evaluada en un ensayo de corta duración. Tesis de Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, Fac. de Biología, UMSNH.

Rehfeldt GE. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): a synthesis. *Silvae Genetica* 37(3-4):131-135.

- Ruiz-Talonia LF. 2010. Variación genética altitudinal entre procedencias de *Pinus patula* Schlttdl & Cham. En ensayos de vivero y campo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis Maestría en Ciencias Biológicas, UMSNH.
- Ruiz-Talonia LF, Sáenz-Romero C y Sánchez-Vargas NM. 2011. Variación genética altitudinal de *Pinus patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Manuscrito en preparación.
- Sáenz-Romero C. 2004. Zonificación estatal y altitudinal para la colecta y movimiento de semillas de coníferas en México. En: Vargas-Hernández, J.J., Bermejo-Velázquez, B. y Ledig, F.T. (Eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. México, CONAFOR-Comisión Forestal de América del Norte. pp 72-86. (Descargar todo el manual en <http://www.fs.fed.us/global/nafc/genetics/activities.htm>).
- Sáenz-Romero C. y Lindig-Cisneros R. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. Ciencia Nicolaíta 37:107-122.
- Sáenz-Romero C, Guzmán-Reyna R and Rehfeldt GE. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México; implications for seed zoning, conservation of forest genetic resources, tree breeding and global warming. Forest Ecology and Management 229:340-350.
- Sáenz-Romero C. and Tapia-Olivares BL. 2008. Genetic variation in frost damage and seed zone delineation within an altitudinal transect of *Pinus devoniana* (*P. michoacana*) in Mexico. Silvae Genética 57(3):165-170.
- Saenz-Romero, C., Rehfeldt, G.E., Crookston, N.L., Duval, P., St-Amant, R., Beaulieu, J. and Richardson, B.A. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for México and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. Climatic Change 102:595-623. DOI:10.1007/s10584-009-9753-5.
- Sáenz-Romero C, GE Rehfeldt, JC Soto-Correa, S Aguilarlar-Aguilar, V Zamarripa-Morales y J López-Upton. 2011. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrabus* populations from Michoacán, México. Two location shadehouse test results. Artículo sometido.
- Soto-Correa, J.C. 2005. Distribución de la biomasa en plántulas de procedencias de *P. pseudostrabus* Lindl. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J.J., y López-Upton, J. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrabus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29(2):121-126.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., López-Upton, J., and Vargas-Hernández, J.J. 2007. Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, México. Forest Ecology and Management 253:81-88.
- Viveros-Viveros, H. Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J.J., López-Upton, J., Ramírez-Valverde, G. and Santacruz-Varela, A. 2009. Altitudinal genetic variation in *Pinus hartwegii* Lindl. I. : height growth, shoot phenology, and frost damage in seedlings. Forest Ecology and Management 257:836-842. doi:10.1016/j.foreco.2008.10.021.