



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

**Ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con  
un enfoque de conservación ante el cambio climático**

**TESIS**

Que presenta:

**María Guadalupe Soto Ochoa**

Como requisito para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Director de tesis: Dr. Nahum M. Sánchez Vargas**

**Codirector de tesis: Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero**

Morelia, Michoacán. Marzo 2016.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
*Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas*

---

DR. HÉCTOR GUILLÉN ANDRADE  
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: “Ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con un enfoque de conservación ante el cambio climático” presentado por la BIOL. María Guadalupe Soto Ochoa, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Morelia, Michoacán, a 26 de enero de 2016

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

Dr. Nahum M. Sánchez Vargas  
Director de Tesis

Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero  
Co director

Dr. Alejandro Martínez Palacios

Dr. Philippe Christian Marc Lobit

Dr. José Cruz de León

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por formar parte de mi motivación y apoyo en cada etapa de mi vida.

A mis amigas de licenciatura por el apoyo en cada etapa del proyecto.

A los Dres., Nahum M. Sánchez Vargas, Cuauhtémoc Sáenz Romero, Alejandro Martínez Palacios, Christian Lobbit Phillippe y José Cruz de León, por su disposición, sugerencias y conducción en la actividades del proyecto.

A la Dirección Técnica Forestal de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, por el apoyo y disposición para en el desarrollo del proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN GENERAL .....</b>	<b>5</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>9</b>
<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>13</b>
<b>CONTROL GENÉTICO E INTERACCIÓN GENOTIPO×AMBIENTE DE <i>Pinus pseudostrobus</i> EN VIVERO Y CAMPO .....</b>	<b>16</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>16</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<i>Etapa de vivero .....</i>	<i>19</i>
<i>Etapa de campo .....</i>	<i>19</i>
<i>Variables evaluadas y análisis estadístico .....</i>	<i>19</i>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
<i>Control genético en vivero .....</i>	<i>21</i>
<i>Control genético en campo.....</i>	<i>22</i>
<i>Interacción genotipo por ambiente .....</i>	<i>26</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>31</b>
<b>INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES Y DEL SUELO SOBRE LA SOBREVIVENCIA EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> LINDL. ESTABLECIDO EN DOS SITIOS .....</b>	<b>33</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>33</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
<i>Factores ambientales.....</i>	<i>37</i>
<i>Análisis de propiedades del suelo por bloque en cada sitio .....</i>	<i>37</i>
<i>Propiedades físicas .....</i>	<i>37</i>
<i>Propiedades Químicas .....</i>	<i>38</i>
<i>Análisis de laboratorio por sitio .....</i>	<i>39</i>

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	40
<i>Relación entre factores ambientales y mortalidad en el ensayo</i> .....	40
<i>Relación entre propiedades físicas y químicas del suelo por bloque en cada sitio</i> .....	41
<i>Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el crecimiento y sobrevivencia de la planta</i> .....	43
<i>Propiedades del suelo por sitio</i> .....	46
<b>CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	49
<b>RESPUESTA EN CRECIMIENTO EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> LINDL. ANTE EL MOVIMIENTO ALTITUDINAL</b> .....	<b>52</b>
<b>RESUMEN</b> .....	52
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	53
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	55
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	56
<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	59
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	<b>62</b>
<b>ANEXO 1. Resultados Cuchaporo</b> .....	<b>63</b>
<b>ANEXO 2. Resultados Huiramo, bloques con mayor sobrevivencia.</b> .....	<b>64</b>
<b>ANEXO 3. Resultados Huiramo, bloques con mayor mortalidad.</b> .....	<b>65</b>

## RESUMEN GENERAL

Se estableció un ensayo de progenies con 36 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrabus* Lindl., de semilla proveniente de árboles fenotípicamente superiores seleccionados en el bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, en tres sitios a altitudes contrastantes. El estudio constó de dos etapas, una de vivero, establecida bajo un diseño completamente al azar, y otra de campo, bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres sitios en Michoacán: Huiramo (3076 msnm), Tiscato (2723 msnm) y Cuchaporo (2480 msnm), con 33, 40 y 7 repeticiones, respectivamente. Sin embargo, por la alta mortalidad que se presentó en Tiscato (por causas ajenas a los genotipos) los datos de este sitio sólo se incluyen en el primer capítulo del presente estudio. Con los objetivos de determinar el control genético, la interacción genotipo-ambiente y los efectos de factores climáticos y propiedades del suelo sobre la sobrevivencia del ensayo, se midió altura y diámetro de la planta a edades de entre 4 y 9 meses después de la siembra vivero, y en campo entre 1 y 40 meses después de la plantación. Los datos se analizaron en el paquete estadístico SAS. Se encontró que durante la etapa de vivero la heredabilidad fue, en general, alta; la altura de la planta presentó valores más altos que el diámetro ( $0.68 \leq h^2_{iALT} \leq 0.83$  y  $0.73 \leq h^2_{fALT} \leq 0.7$ ;  $0.21 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.51$  y  $0.41 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.65$ ). En campo, para ambas variables fue mayor en Tiscato ( $h^2_{iALT}=1.0$  y  $0.96 \leq h^2_{fALT} \leq 0.99$ ;  $0.00 \leq h^2_{iDIAM} \leq 1.0$  y  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.99$ ) que en Huiramo ( $0.0 \leq h^2_{iALT} \leq 0.79$  y  $0.0 \leq h^2_{fALT} \leq 1.0$ ;  $0.0 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.91$  y  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 1.0$ ) y Cuchaporo donde presentó un comportamiento más o menos estable en todas las edades ( $0.23 \leq h^2_{iALT} \leq 0.42$  y  $0.37 \leq h^2_{fALT} \leq 0.83$ ;  $0.27 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.60$  y  $0.46 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.71$ ). La estabilidad de familias desde los 9 meses en vivero con todas las edades en campo, fue mayor en los primeros meses en Huiramo y Tiscato que en Cuchaporo ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ). En Huiramo fueron estables en ambas variables en los primeros meses ( $0.97 \geq r_B \leq 1.0$ ) y disminuyó a partir de los 21 ( $0.0 \geq r_B \leq 0.5$ ). En Tiscato fueron estables ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ) excepto a los 20 meses ( $0.10 \geq r_B \leq 0.33$ ). En Cuchaporo fueron inestables en todas las edades ( $0.02 \geq r_B \leq 0.59$ ). Entre sitios fueron estables en todas las edades ( $0.81 \geq r_{BALT} \leq 1.0$ ;  $r_{BDIAM}=1.0$ ), excepto en diámetro a los 28 meses ( $r_B=0.60$ ), mostrando que las familias pueden establecerse en distintos ambientes. Se encontró que la precipitación y evapotranspiración tuvieron efecto sobre la mortalidad que se presentó en cada sitio, mostrando que los mayores porcentajes de mortalidad se presentaron después de periodos de baja

precipitación. Las propiedades físicas y químicas del suelo también tuvieron efecto en la sobrevivencia y crecimiento de las plantas: en Huiramo la resistencia del suelo a la penetración fue la única propiedad que se relacionó con la altura promedio de cada uno de los bloques en el sitio y la capacidad de campo se relacionó con el índice de compactación. En Cuchaporo, la sobrevivencia se relacionó con la capacidad de campo del suelo; la altura con la conductividad eléctrica y la capacidad de campo con la resistencia a la penetración. La respuesta en crecimiento de las familias ante el movimiento altitudinal hacia arriba fue buena, las familias de menor crecimiento fueron las establecidas en los extremos del gradiente altitudinal. Fue en Huiramo donde presentaron mayor crecimiento, sugiriendo que se puede realizar un movimiento altitudinal hacia arriba de hasta 500 m, donde presentarán un crecimiento similar que en su altitud de origen, por lo tanto, la migración asistida para la especie es una técnica que puede usarse como una estrategia de adaptación ante el cambio climático.

Palabras clave: Heredabilidad, correlación Tipo B, factores ambientales, factores del suelo, migración asistida.

## SUMMARY

A progeny test with 36 half-sib families of *Pinus pseudostrobus* is established Lindl., seed from phenotypically superior trees selected in the forest of Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacan, in three contrasting sites altitudes. The study consisted of two stages, a nursery, established under a completely randomized design, and other field under a design randomized complete block with three sites in Michoacan: Huiramo (3076 msnm), Tiscato (2723 msnm) and Cuchaporo (2480 msnm), with 33, 40 and 7 repeats, respectively. However, for the high mortality occurred in Tiscato (for reasons beyond genotypes) data from this site are only included in the first chapter of this study. With the objective of determining the genetic control, genotype-environment and the effects of climatic factors and soil properties on the survival of the trial, interaction height and diameter of the plant it was measured at ages 4 and 9 months after planting nursery and field between 1 and 40 months after planting. Data were analyzed in the SAS statistical package. It was found that during the nursery stage heritability was generally high; the plant height showed higher than the diameter ( $0.68 \leq h^2_{iALT} \leq 0.83$  y  $0.73 \leq h^2_{fALT} \leq 0.7$ ;  $0.21 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.51$  y  $0.41 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.65$ ) values. In the field, for both variables it was higher in Tiscato ( $h^2_{iALT}=1.0$  and  $0.96 \leq h^2_{fALT} \leq 0.99$ ;  $0.00 \leq h^2_{iDIAM} \leq 1.0$  y  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.99$ ) in Huiramo ( $0.0 \leq h^2_{iALT} \leq 0.79$  and  $0.0 \leq h^2_{fALT} \leq 1.0$ ;  $0.0 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.91$  and  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 1.0$ ) and Cuchaporo where he presented a more or less stable behavior at all ages ( $0.23 \leq h^2_{iALT} \leq 0.42$  and  $0.37 \leq h^2_{fALT} \leq 0.83$ ;  $0.27 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.60$  and  $0.46 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.71$ ). The stability of families from 9 months in the nursery with all ages in the field was higher in the first months in Huiramo and Tiscato in Cuchaporo ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ). In Huiramo they were stable in both variables in the first months ( $0.97 \geq r_B \leq 1.0$ ) and decreased from 21 ( $0.0 \geq r_B \leq 0.5$ ). In Tiscato they were stable ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ) except at 20 months ( $0.10 \geq r_B \leq 0.33$ ). In Cuchaporo they were unstable in all ages ( $0.02 \geq r_B \leq 0.59$ ). Among sites they were stable at all ages ( $0.81 \geq r_{BALT} \leq 1.0$ ;  $r_{BDIAM}=1.0$ ), except in diameter at 28 months ( $r_B=0.60$ ), showing that families can settle in different environments. It was found that precipitation and evapotranspiration had an effect on mortality presented at each site, showing that the highest percentages of mortality occurred after periods of low rainfall. The physical and chemical soil properties also had an effect on the survival and growth of plants: in Huiramo soil resistance to penetration was the only property that was related to the average height of each of the blocks on the site and field

capacity related to the degree of compaction. In Cuchaporo, survival was related to soil field capacity; height with the electrical conductivity and field capacity with resistance to penetration. The growth response of families to the altitudinal upward movement was good, the families of slower growth were established at the ends of the altitudinal gradient. It was in Huiramo where further growth presented, suggesting that it can perform altitudinal upward movement of up to 500 m, where they will present a similar growth in its altitude of origin, therefore assisted migration to the species is a technique that can be used as an adaptation strategy to climate change.

Keywords: heritability, correlation Type B, environmental and soil factors, assisted migration.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La necesidad de disponer de fuentes de semilla con calidad genética superior tanto para plantaciones comerciales como para reforestación, conservación y restauración sigue vigente, y los programas de mejoramiento genético en México son de reciente creación y de tamaño reducido, mostrando poco avance en el tema (López-Upton *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2013).

Los huertos semilleros representan una alternativa para la producción de semilla de calidad para el establecimiento de plantaciones en el país (Gómez *et al.*, 2010), pueden ser creados a partir de ensayos de progenie, que permiten estimar el valor genético de los individuos seleccionados, generar información necesaria para diseñar la estrategia de selección, manejo y realización de aclareos genéticos para convertirlos en huertos semilleros (Farfán *et al.*, 2002; Vargas-Hernández y López-Upton, 2004; Viveros-Viveros *et al.*, 2005).

Debido a la longevidad de las especies, el tiempo requerido para la evaluación en los programas de mejoramiento genético es el principal problema (Farfán *et al.*, 2002); puede ser reducido por medio de la selección temprana, al seleccionar genotipos con base en características que se manifiestan a edades jóvenes, con el fin de mejorar una característica en edades posteriores (Vargas-Hernández y Adams, 1992). La eficiencia de la selección temprana depende en gran medida de la correlación genética entre etapas tempranas y edades posteriores y de la heredabilidad de las características en edades tempranas (Wu *et al.*, 1997), siendo la heredabilidad uno de los principales parámetros que determinan el control genético de alguna característica de interés y muestra la proporción de la variación debida a diferencias genéticas entre individuos (Mora y Zamudio, 2006).

En los programas de mejoramiento genético es importante conocer si el rendimiento de los genotipos varía de acuerdo al ambiente, es decir, si genotipos que son superiores en un entorno no lo son en otros lugares, y hay un efecto de interacción genotipo×ambiente (Burdon, 1977), que puede conducir a una mala elección de fuentes de semilla para el establecimiento en un sitio particular y tener gran impacto en la productividad y calidad de la plantación (Murillo, 2001, Mckeand *et al.*, 2006).

La heterogeneidad ambiental determina la distribución de la variación genética entre poblaciones de plantas, por tal motivo es importante conocer la relación planta-clima en el diseño de programas integrales para el manejo y conservación de las especies (Eckert *et al.*, 2010, Sáenz-Romero *et al.*, 2010), ya que los distintos niveles de precipitación, variación térmica, topografía, exposición y radiación solar, afectan la fisiología de las plantas al interactuar con la arquitectura de éstas (Premoli y Mathiasen, 2011). Es importante contar con fuentes de semilla adaptadas al ambiente de plantación, sin embargo, la práctica de establecer la planta descendiente en condiciones ambientales similares a las experimentadas por sus antepasados, está siendo modificada por el cambio climático (Wang *et al.*, 2006).

Se estima para México un aumento de temperatura de 1.5 °C para el año 2030, 2.3 °C en 2060, y 3.7 °C para 2090, y una disminución de la precipitación media anual de 6.7 % en el 2030, 9 % en 2060 y 18.2 % para el 2090 (Sáenz-Romero *et al.*, 2011), además, la velocidad del cambio climático es mayor que la capacidad de desplazamiento de muchas especies que se encuentran en la necesidad de migrar a sitios con ambientes a los cuales están adaptados (Pearson, 2006; Rehfeldt *et al.*, 2012), por esta razón se ha propuesto la migración asistida como una estrategia para el movimiento rápido de las especies que les permita ajustarse a los hábitats cambiantes (Sáenz-Romero *et al.*, 2011).

El clima, por medio de sus componentes como la radiación, temperatura, pluviosidad, humedad y viento, es el factor que mayor influencia tiene sobre el suelo, por ejemplo, la temperatura influye sobre las reacciones bioquímicas que ocurren en él, y para que éstas sucedan es necesaria la presencia de agua (Thiers *et al.*, 2014). Así, el suelo es un sistema complejo de características y propiedades físicas y químicas que representa un factor importante, decisivo en el nivel de producción (Schlatter y Gerding, 1995).

El presente trabajo muestra resultados de la evaluación de un ensayo de progenies de 36 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y está dividido en tres capítulos: En el primero se muestran resultados del control genético de altura y diámetro de las plantas, de cómo es el cambio de los valores de heredabilidad a través del tiempo, así como la estabilidad de las familias por medio de la interacción genotipo×ambiente al ser establecidas en dos sitios altitudinalmente distintos. En el segundo capítulo se presentan los resultados de la influencia de la precipitación y evapotranspiración sobre la sobrevivencia

de la planta ocurrida en los sitios desde el establecimiento del ensayo, y el efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre la sobrevivencia. En el tercer capítulo se analiza la respuesta en crecimiento de las familias ante el movimiento altitudinal cuando son movidas de su lugar de origen, a dos altitudes diferentes, como una forma de explorar la migración asistida para la especie.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la respuesta en crecimiento de fenotipos superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en un ensayo de progenies con un enfoque de respuesta al cambio climático, establecido en tres sitios altitudinalmente diferentes.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la variación y el control genético de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. establecidas en campo.
- Determinar el efecto de interacción genotipo×ambiente en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tres sitios altitudinalmente diferentes.
- Determinar el efecto de factores climáticos y edáficos sobre la sobrevivencia en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl. establecido en tres sitios a diferente altitud.
- Explorar la respuesta en crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en un ensayo de progenies de medios hermanos con un enfoque de migración asistida como estrategia ante el cambio climático.

## LITERATURA CITADA

- Burdon, R. D. (1977): Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genetica* 26(5–6): 168–175.
- Eckert A. J., Van Heerwaarden J., Wegrzyn L. J., Nelson C. D., Ross-Ibarra J., Santiago C. González-Martínez S. C. y David. B. Neale D. B. 2010. Patterns of Population Structure and Environmental Associations to Aridity Across the Range of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L., Pinaceae). *Genetics* 185: 969–982.
- Farfán Vázquez, E. de G., Jasso Mata J., López Upton J., Vargas Hernández J. J. y Ramírez Herrera C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *Ayacahuite*. México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 239-246 p.
- Gómez Jiménez D. M., Ramírez Herrera C., Jasso Mata J. y López Upton J. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 297-304 p.
- López-Upton, J., Ramírez Herrera C., Jasso Mata J., Jiménez Casas M., Aguilera Rodríguez M., Sánchez Velázquez J. R. y Rodríguez Trejo D. A. 2011. Situación de los Recursos Genéticos Forestales en México. Informe Final del Proyecto 35 TCP/MEX/3301/MEX (4). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), México. 23 p.
- Mckeand S. E., Jokela E. J., Huber D. A., Byram T. D., Allen H. L. y Timothy B. L. 2006. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. *Forest Ecology and Management* 227: 178-184 p.
- Mora F. y Zamudio F. 2006. Variabilidad genética del crecimiento en progenies selectas de *Pinus radiata*. *Ciência Florestal* 16:4 399-405 p.
- Morales González E., López Upton J., Vargas Hernández J. J., Ramírez Herrera C., Gil Muñoz A. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:155–162 p.

- Murillo O. 2001. Gnotype by environment interaction and genetic gain on unbalanced *Pinus oocarpa* provenances trials. *Agronomía Costarricense* 25:21-32 p.
- Pearson, R. G. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends Ecology Evolution* 21(3): 111-113.
- Premoli A. C. y Mathiasen P. 2011. Respuestas ecofisiológicas adaptativas y plásticas en ambientes secos de montaña: *Nothofagus pumilio*, el árbol que acaparó los Andes australes. *Ecología austral* 21(3) 251-269 pp.
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero, and E Campbell. 2012. North American vegetation analysis for land use planning in a changing climate: A statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119-141.
- Sáenz-Romero C., Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Duval P., St-Amant R., Beaulieu J. y B., Richardson B. A. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102:595–623 p.
- Schlatter J. E., Gerding V. 1995. Método de clasificación de sitios para la producción forestal, ejemplo en Chile. *BOSQUE* 16(2): 13-20 p.
- Thiers O., Reyes J., Gerding V., Schlatter J. E. 2014. Suelos en ecosistemas forestales. In Donoso C, ME González, A Lara eds. *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. p. 133-178.
- Vargas-Hernández J. J. y López-Upton J. 2004. Diseños genéticos y métodos estadísticos en la evaluación de germoplasma de especies forestales. F.T. (Eds.). *Manejo de Recursos Genéticos Forestales*. México, CONAFOR Comisión Nacional Forestal 128-145 p.
- Viveros-Viveros, H., C. Sáenz-Romero y R. R. Guzmán-Reyna. 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 333-338.

Wang T., Hamann A., Yanchuk A., O'Neill G.A., Aitken S.N. 2006. Use of response functions in selecting lodgepole pine populations for future climates. *Global Change Biology* 12(2):2404–2416.

## CONTROL GENÉTICO E INTERACCIÓN GENOTIPO×AMBIENTE DE *Pinus pseudostrobus* EN VIVERO Y CAMPO

### RESUMEN

En el país existe la necesidad de contar con huertos para el abastecimiento de semilla de calidad genética, éstos obtenidos a partir de ensayos de progenies, por lo anterior y con el objetivo de estimar los parámetros genéticos de altura y diámetro y el efecto de la interacción genotipo-ambiente de *Pinus pseudostrobus*, se estableció un ensayo de progenies en vivero bajo un diseño completamente al azar con semilla de 36 árboles fenotípicamente superiores seleccionados en el bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, posteriormente establecido bajo un diseño de bloques completamente al azar en dicho municipio: en Huiramo ubicado a 3076 msnm, Tiscato a 2723 msnm y Cuchaporo a 2480 msnm, con 33, 40 y 7 repeticiones, respectivamente. Se midió altura y diámetro en vivero entre 4 a 9 meses después de la siembra, en campo entre 1 a 40 meses después de la plantación. En vivero la altura presentó mayor heredabilidad que el diámetro ( $0.68 \leq h^2_{iALT} \leq 0.83$ ;  $0.73 \leq h^2_{fALT} \leq 0.7$  y  $0.21 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.51$ ;  $0.41 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.65$ ), en campo, para ambas fue mayor en Tiscato ( $h^2_{iALT} = 1.0$ ;  $0.96 \leq h^2_{fALT} \leq 0.99$  y  $0.00 \leq h^2_{iDIAM} \leq 1.0$ ;  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.99$ ) que en Huiramo ( $0.0 \leq h^2_{iALT} \leq 0.78$ ;  $0.0 \leq h^2_{fALT} \leq 1.0$  y  $0.0 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.91$ ;  $0.0 \leq h^2_{fDIAM} \leq 1.0$ ) y Cuchaporo ( $0.23 \leq h^2_{iALT} \leq 0.42$ ;  $0.37 \leq h^2_{fALT} \leq 0.83$  y  $0.27 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.60$ ;  $0.46 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.71$ ), altos valores en las primeras edades sugieren un efecto materno. La estabilidad de familias desde los 9 meses en vivero con todas las edades en campo, fue mayor en los primeros meses en Huiramo y Tiscato que en Cuchaporo ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ). En Huiramo fueron estables en ambas variables en los primeros meses ( $0.97 \geq r_B \leq 1.0$ ) y disminuyó a partir de los 21 ( $0.0 \geq r_B \leq 0.5$ ). En Tiscato fueron estables ( $0.83 \geq r_B \leq 1.0$ ) excepto a los 20 meses ( $0.10 \geq r_B \leq 0.33$ ). En Cuchaporo fueron inestables en todas las edades ( $0.02 \geq r_B \leq 0.59$ ). Entre sitios fueron estables en todas las edades ( $0.81 \geq r_{BALT} \leq 1.0$ ;  $r_{BDIAM} = 1.0$ ), excepto en diámetro a los 28 meses ( $r_B = 0.60$ ), mostrando que las familias pueden establecerse en distintos ambientes.

Palabras clave: *Pinus pseudostrobus* Lindl., correlación Tipo B, heredabilidad.

## INTRODUCCIÓN

*Pinus pseudostrabus* es una especie de gran importancia ecológica y económica en el estado de Michoacán, por su amplia distribución, empleo en la industria de la construcción y producción de resina (Amezcuca y Ángeles, 2003). Por su crecimiento relativamente rápido se considera una especie apropiada para el establecimiento de plantaciones comerciales (López-Upton, 2002), sin embargo, es importante disponer de huertos semilleros para el abastecimiento de germoplasma de calidad genética superior obtenidos de ensayos de progenies (Morales *et al.*, 2013).

Tomando en cuenta que el comportamiento de las plantas está determinado por su constitución genética y las condiciones ambientales donde éstas crecen, los ensayos de progenie también permiten identificar el comportamiento diferencial de los genotipos cuando se establecen en varias localidades (Gutiérrez, 2007; White *et al.*, 2007) y determinar la interacción genotipo×ambiente que pueden conducir a una mala elección de fuentes de semilla para el establecimiento en un sitio particular (Murillo, 2001), sin embargo, actualmente son pocos los estudios realizados para evaluarla. Baltunis y colaboradores (2010) en un estudio con ocho ensayos de progenie de *Pinus radiata* encontraron inestabilidad de las familias en diámetro. Para *Pinus patula* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham establecido en dos sitios evaluados a los cinco y seis años, se reportó una alta interacción para altura ( $r_B = 0.26$  a  $0.40$ ) y diámetro ( $r_B = 0.08$  a  $0.41$ ) (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012).

El conocimiento del valor de la heredabilidad del carácter de interés en los ensayos de progenie es indispensable para el aclareo genético de éstos y su conversión a huertos semilleros, para *Pinus oocarpa* Schiede se han reportado valores relativamente bajos de heredabilidad en vivero para altura a dos y seis meses de edad  $h^2_i = 0.38-0.39$  y para diámetro a los cinco meses  $h^2_i = 0.28$  (Viveros-Viveros *et al.*, 2005), dichos valores son cercanos a los encontrados para *Pinus leiophylla* Schiede *ex* Schltdl. & Cham. a los 19 meses en vivero ( $h^2_i=0.25$  altura y  $h^2_i=0.05$  diámetro) (Ramírez-Mandujano, 2012). Para *P. ayacahuite* a edades de 3 a 13 años en campo se encontraron valores moderados para altura ( $0.31 \leq h^2_i \leq 0.52$ ) y diámetro ( $0.32 \leq h^2_i \leq 0.55$ ) (Farfán *et al.*, 2002), siendo mayores que en *P. patula* a cinco y seis años ( $0.09 \leq h^2_i \leq 0.33$  y  $0.10 \leq h^2_i \leq 0.30$ ) (Salaya-Domínguez, 2012).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar el control genético de la altura y el diámetro en condiciones de vivero y campo, así como el efecto de la interacción genotipo×ambiente, en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecidos en dos altitudes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Etapa de vivero*

El ensayo se estableció en el 2011 en el vivero del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH) con semilla de 36 árboles fenotípicamente superiores seleccionados en rodales naturales de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (NSJP), Michoacán. Se realizaron dos siembras en almacigo, en el mes de junio y octubre del mismo año, una vez que las plántulas se encontraron en etapa de cerrillo se trasplantaron en envases rígidos de 380 cm<sup>3</sup>. El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar.

### *Etapa de campo*

En el 2012 se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar en NSJP, inicialmente el ensayo se estableció en tres sitios, en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre de 2012, en el sitio llamado Huiramo ubicado a una altitud de 3076 msnm, en Tiscato a 2723 msnm y Cuchaporo 2480 msnm, con 33, 40 y 7 repeticiones y un individuo por familia, respetivamente, sin embargo, la alta mortalidad causada por daño por heladas, roedores y ganado, provocaron la pérdida del sitio Tiscato.

### *Variables evaluadas y análisis estadístico*

En vivero se midió la altura y diámetro de la planta a los 4, 6, 8 y 9 meses después de la siembra, en campo a los 3, 5, 7, 9, 11, 21, 28, 31 y 40 meses en Huiramo; en Tiscato, debido a la mortalidad, sólo a los 2, 4, 6, 8, 10 y 20; y en Cuchaporo a 1, 3, 5, 7, 9, 19, 26, 29 y 38 meses después de la plantación.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2006), se usó como covariable la primera medición de altura en vivero ( $A_v$ ) para reducir la varianza del error debido a la diferencia de edad de las plantas. Se obtuvieron estadísticas descriptivas con el procedimiento MEANS, y los componentes de la varianza con el procedimiento MIXED usando los siguientes modelos estadísticos:

$$Y_{ij} = \mu + F_i + A_v + E_{ij} \quad \text{Vivero}$$

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + A_v + E_{ijk} \quad \text{Campo}$$

Donde  $Y_{ij}$  y  $Y_{ijk}$  son cada una de las observaciones en vivero y campo, respectivamente;  $\mu$  es la media general de la población;  $F_i$  y  $F_j$  es el efecto de familia,  $B_i$  es el efecto fijo de bloque;  $A_v$  es la altura de la primera medición de vivero usada como covariable, y  $E_{ij}$  y  $E_{ijk}$  son los errores experimentales.

Se estimó la heredabilidad en sentido estricto a nivel individual ( $h^2_i$ ) y de medias de familias ( $h^2_f$ ), usando las fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

Vivero:	Campo:
$h^2_i = 3\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_e)$	$h^2_i = 3\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_e)$
$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_e/n)]$	$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_e/b)]$

Donde  $\sigma^2_f$  es la varianza entre familias;  $\sigma^2_e$  varianza del error;  $n$  número de individuos por familia y  $b$  número de bloques.

Se calculó el error estándar de dichas heredabilidades usando la fórmula de Falconer y Mackay (2001):

$$\sigma_{h^2} = [2 [1 + (n - 1)t]2 (1-t)2 / n (n - 1) (N - 1)]$$

Donde  $n$  es el número de individuos por familia;  $t$  es el valor de heredabilidad;  $N$  es el número de familias en el ensayo.

Para identificar si el rendimiento relativo de las familias difería cuando éstas crecían en ambientes distintos (Greaves *et al.*, 1997), se usaron los datos de la última medición en vivero y se compararon con todos los datos de cada edad en campo por sitio; y entre sitios, a las edades de 3, 5, 7, 9, 20 y 28 meses. Usando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + S_l + B_{i(l)} + F_j + SF_{lj} + A_v + E_{ijk}$$

Donde  $\mu$  es la media general de la población;  $S_l$  es el efecto fijo de sitio;  $B_{i(l)}$  es el efecto fijo de bloque;  $F_j$  efecto de familia;  $SF_{lj}$  efecto de interacción entre la familia y el sitio;  $A_v$  es la covariable y  $E_{ijk}$  es el error experimental. Se calculó la interacción genotipo×ambiente con la fórmula de Burdon (1977):

$$r_B = \sigma^2_{g(f)} / (\sigma^2_{g(f)} + \sigma^2_{g(sf)})$$

Donde  $\sigma^2_{g(f)}$  es la varianza genética de familias y  $\sigma^2_{g(sf)}$  es la varianza de la interacción sitio×familia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Control genético en vivero*

La altura presentó mayores valores de heredabilidad ( $0.68 \leq h^2_i \leq 0.83$  y  $0.73 \leq h^2_f \leq 0.77$ ) en comparación con el diámetro ( $0.21 \leq h^2_i \leq 0.51$  y  $0.41 \leq h^2_f \leq 0.65$ ) tanto a nivel individual como de medias de familias (Figs. 1 y 2), estos valores fueron mayores que los reportados para *Pinus oocarpa* Schiede a las edades de dos y seis meses en vivero (Viveros-Viveros *et al.*, 2005), al igual que para *Pinus leiophylla* Schiede *ex* Schltdl. & Cham., a los 19 meses en vivero (Ramírez-Mandujano, 2012).

Los datos de altura de la primera medición fueron usados como covariable para reducir la varianza del error debido a la diferencia de edad de las plantas, la cual fue significativa en todas las evaluaciones en vivero ( $p = 0.0001$ ).

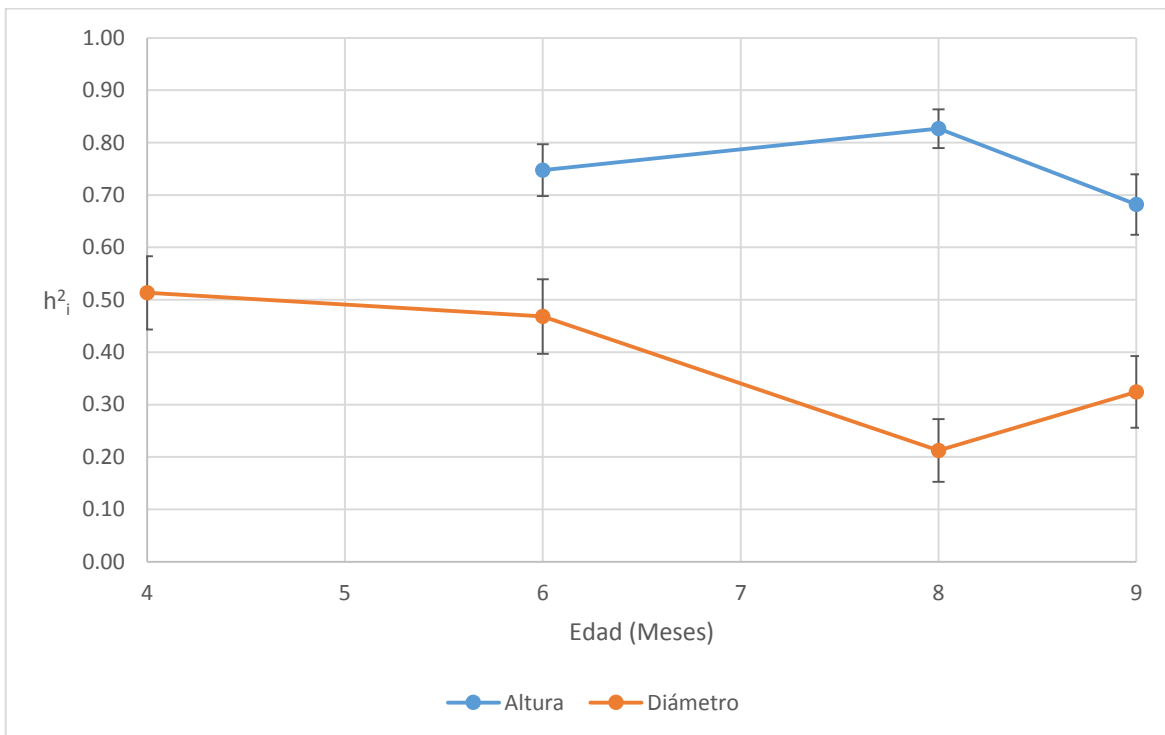


Figura 1. Heredabilidad individual y error estándar (barras) de altura y diámetro de un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecido en vivero.

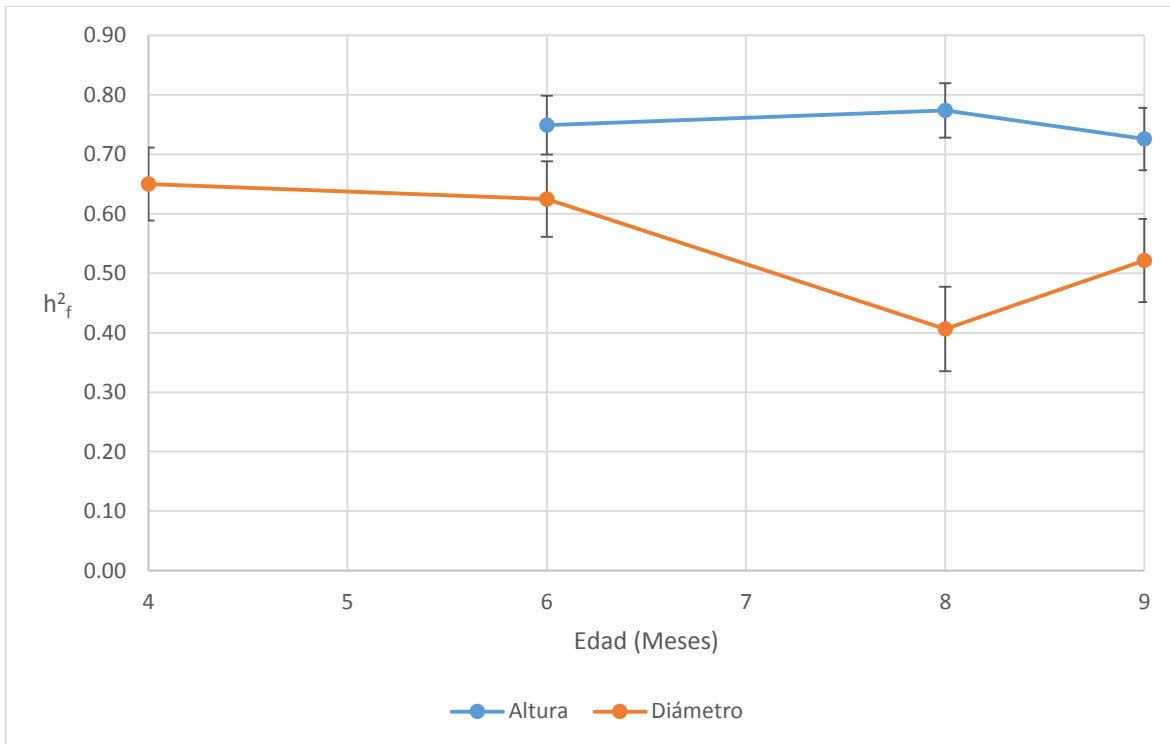


Figura 2. Heredabilidad de medias de familias y error estándar (barras) de altura y diámetro de un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecido en vivero.

### **Control genético en campo**

La heredabilidad para altura siempre fue mayor en Tiscato ( $h^2_i = 1.0$  y  $0.96 \leq h^2_f \leq 0.99$ ) que en Huiramo y Cuchaporo (Figs. 3 y 4), sin embargo, los valores encontrados en Tiscato no son incluidos en las gráficas debido a sus altos valores que pudieron estar influenciados por la mortalidad ocurrida en el sitio. En Huiramo la heredabilidad mostró una tendencia a disminuir con la edad, presentando un valor bajo a los 40 meses ( $0.0 \leq h^2_i \leq 0.79$  y  $0.0 \leq h^2_f \leq 1.0$ ), en Cuchaporo los valores fueron relativamente bajos, pero más o menos constantes durante todas las edades ( $0.23 \leq h^2_i \leq 0.42$  y  $0.37 \leq h^2_f \leq 0.83$ ).

Los valores de error estándar de la heredabilidad tanto a nivel individual como de medias de familias fueron menores en Tiscato ( $0.0 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.011$ ), que en Huiramo ( $0.001 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.082$ ) y en Cuchaporo ( $0.04 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.11$ ) (Figs. 3 y 4).

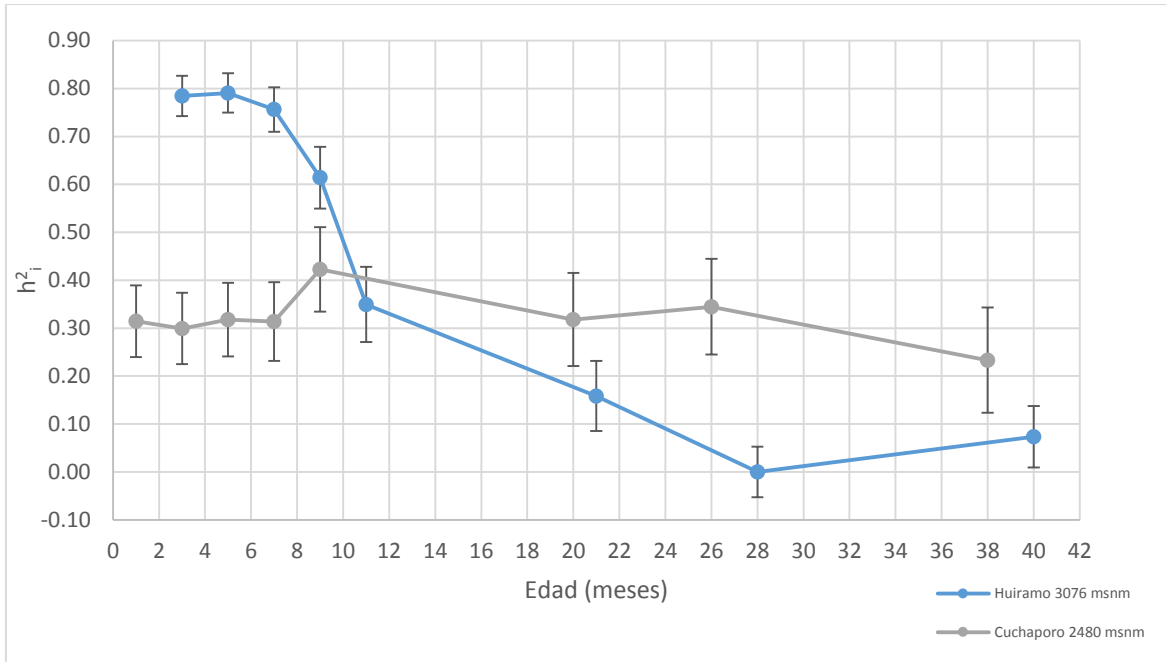


Figura 3. Heredabilidad a nivel individual y error estándar (barras) de altura en ensayos de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecidos en tres sitios a diferente altitud.

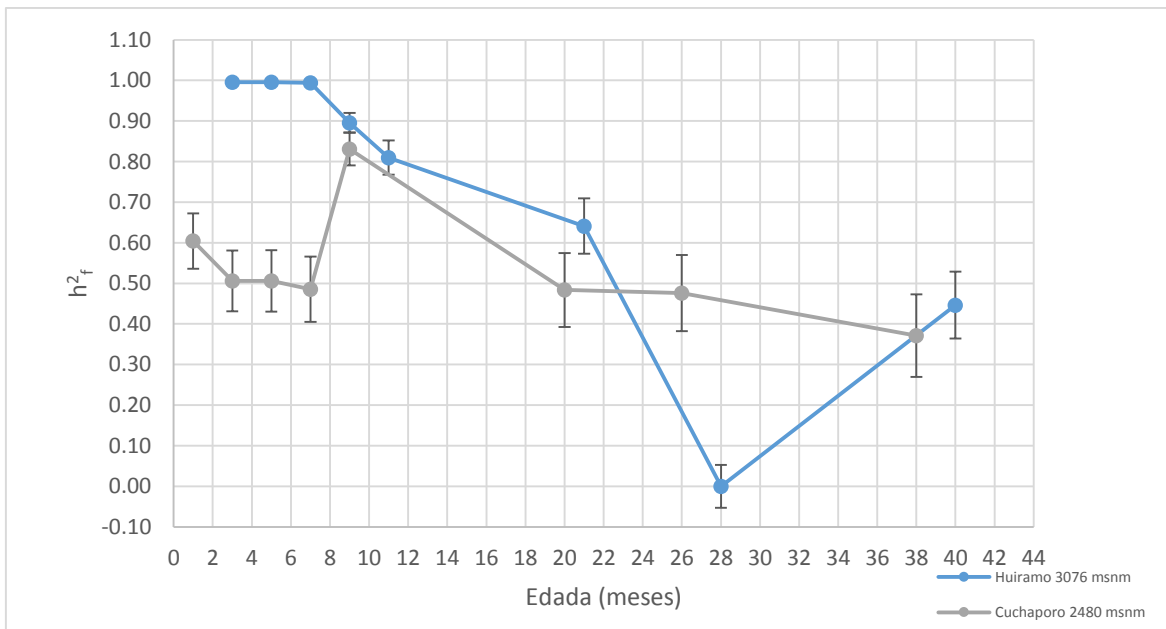


Figura 4. Heredabilidad a nivel de medias de familias y error estándar (barras) de altura en ensayos de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecidos en tres sitios a diferente altitud.

El diámetro también mostró mayor heredabilidad en Tiscato ( $0.9 \leq h^2_i \leq 1.0$  y  $0.97 \leq h^2_f \leq 0.99$ ) que en Huiramo y Cuchaporo, sin embargo, presentó un valor de cero a los 20 meses de edad. En Huiramo, al igual que para la altura, la heredabilidad fue alta entre los tres y siete meses y a partir de los nueve meses disminuyó ( $0.0 \leq h^2_i \leq 0.91$  y  $0.0 \leq h^2_f \leq 1.0$ ) (Fig. 5). En Cuchaporo la heredabilidad fue moderada y más o menos constante en todas las edades ( $0.27 \leq h^2_i \leq 0.6$  y  $0.46 \leq h^2_f \leq 0.71$ ) (Fig. 6).

El error estándar de la heredabilidad para el diámetro fue menor en Tiscato ( $0.0 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.315$ ) que en Huiramo ( $0.001 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.08$ ) y Cuchaporo ( $0.06 \leq \sigma_{h^2} \leq 0.11$ ).

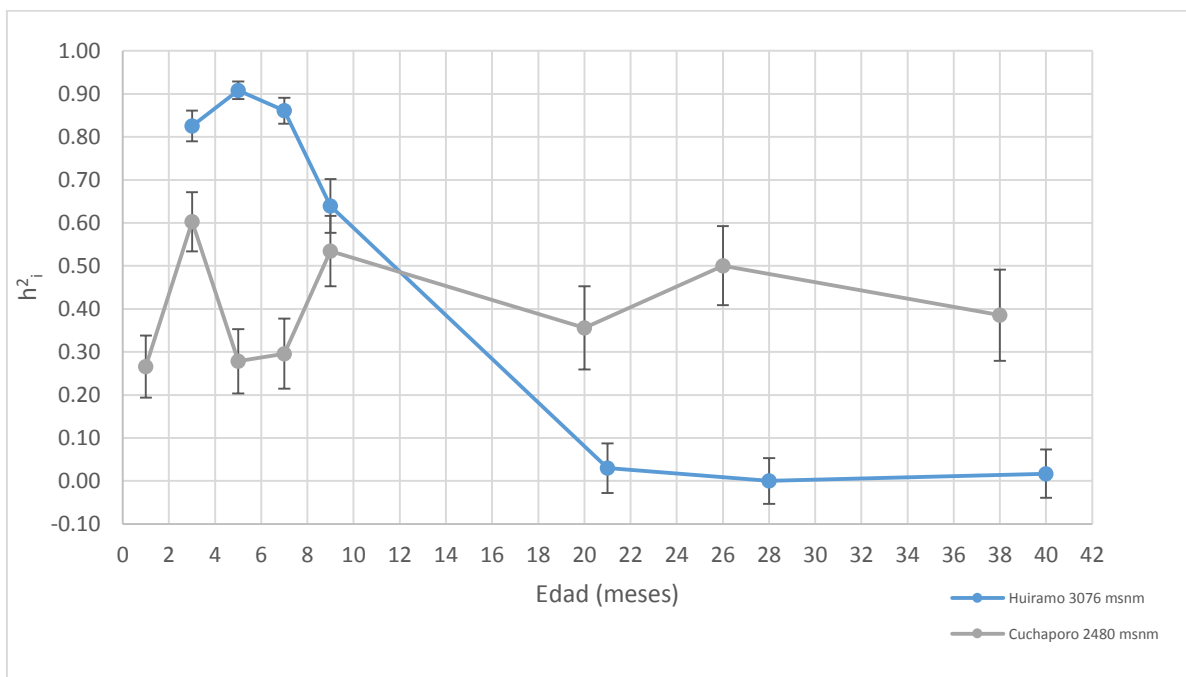


Figura 5. Heredabilidad a nivel individual y error estándar (barras) de diámetro en ensayos de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecido en tres sitios a diferente altitud.

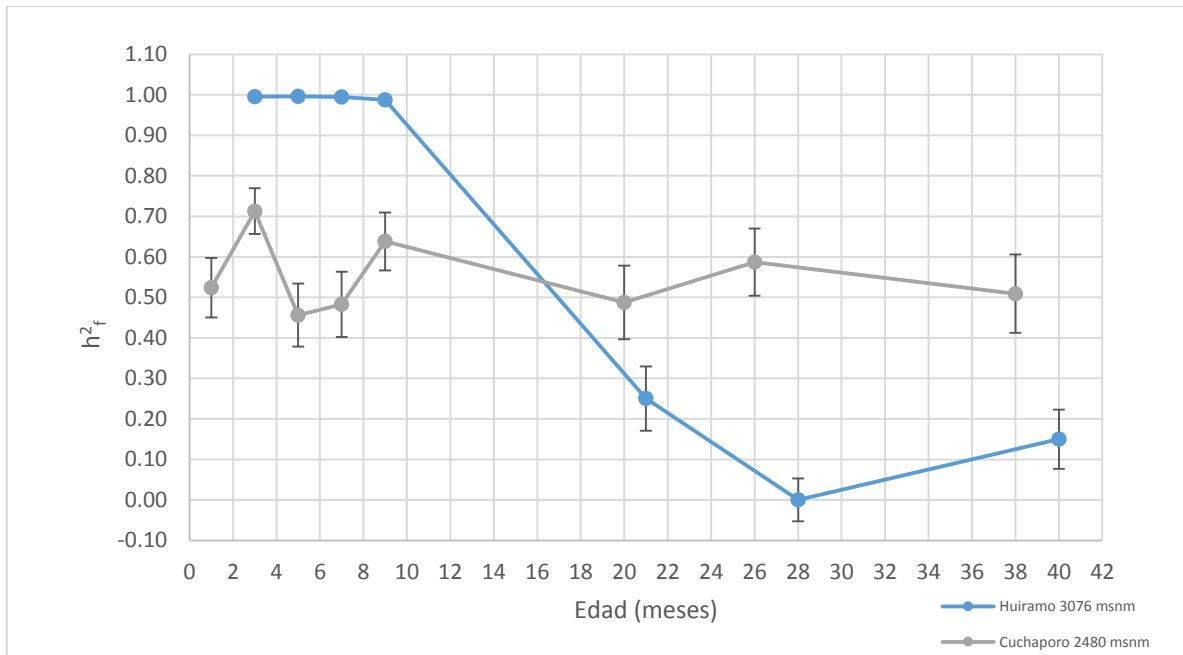


Figura 6. Heredabilidad de medias de familias y error estándar (barras) de diámetro en ensayos de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecidos en tres sitios a diferente altitud.

Los valores de heredabilidad encontrados en el presente estudio son diferentes a los reportados para *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite* (Farfán *et al.*, 2002) donde la heredabilidad aumenta con la edad ( $0.31 \leq h^2_{iALT} \leq 0.52$ ;  $0.32 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.55$ ). El valor de heredabilidad para altura en Huiramo a los 40 meses es similar al encontrado para *Pinus radiata* por Mora y Zamudio (2006) a los siete años de edad en uno de los dos sitios de evaluación ( $h^2=0.076$ ) y menor en ambos ( $h^2=0.076$  y  $h^2=0.1334$ , respectivamente) en comparación al valor encontrado en Cuchaporo. Dicho valor encontrado para altura en Huiramo es ligeramente mayor al reportado para familias seleccionadas de *Pinus patula* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham. (Salaya-Domínguez *et al.*, 2012) a los cinco y seis años del ensayo ( $h^2_i=0.01$  y  $h^2_i=0$ , respectivamente) y menor al valor para familias mejoradas ( $h^2_i=0.13$  y  $h^2_i=0.14$ , respectivamente), tales valores de ambos grupos son menores a lo encontrado en Cuchaporo.

La tendencia de la heredabilidad encontrada en Huiramo puede compararse con los valores encontrados para *Pinus ponderosa* y *P. taeda* (Franklin, 1979) evaluados durante un periodo de 30 y 25 años respectivamente, durante una etapa juvenil entre los 3 y 5 años, la

heredabilidad muestra una tendencia a disminuir, y en general durante el periodo de evaluación los valores de ésta no son constantes en el tiempo, mostrando caídas y aumentos, tal comportamiento se muestra con los valores de heredabilidad encontrados en Cuchaporo.

En la última edad se encontró mayor heredabilidad para ambas variables en Cuchaporo, el sitio ubicado a menor altitud, lo cual es similar a lo reportado por Morales y colaboradores (2013) para *Pinus patula* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham., evaluado en dos altitudes a los 4 y 5 años de edad, encontrando mayor heredabilidad en el sitio de menor altitud ( $0.16 \leq h^2_{iALT} \leq 0.17$ ;  $0.08 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.09$ ).

### ***Interacción genotipo por ambiente***

Los genotipos mostraron un comportamiento similar a través del tiempo e inestable en ambas variables en Cuchaporo, con bajos valores de correlación Tipo B ( $0.07 \geq r_{BALT} \leq 0.59$  y  $0.02 \geq r_{BDIAM} \leq 0.57$ ) (Fig. 7). En Huiramo los genotipos tuvieron un comportamiento similar a través del tiempo entre las variables evaluadas (Fig. 8), fueron estables en ambas hasta los 11 meses ( $r_{BALT}=1.0$ ;  $0.97 \geq r_{BDIAM} \leq 1.0$ ) y a partir de los 21 meses fueron inestables ( $0.0 \geq r_{BALT} \leq 0.15$  y  $0.0 \geq r_{BDIAM} \leq 0.5$ ).

En Tiscato los genotipos también tuvieron un comportamiento similar a través del tiempo, fueron estables en ambas variables con altos valores de correlación entre los dos y diez meses de edad ( $0.83 \geq r_{BALT} \leq 1.0$  y  $0.91 \geq r_{BDIAM} \leq 1.0$ ) y con un valor bajo a los 20 meses ( $r_{BALT}=0.33$  y  $r_{BDIAM}=0.10$ ) (Fig. 9).

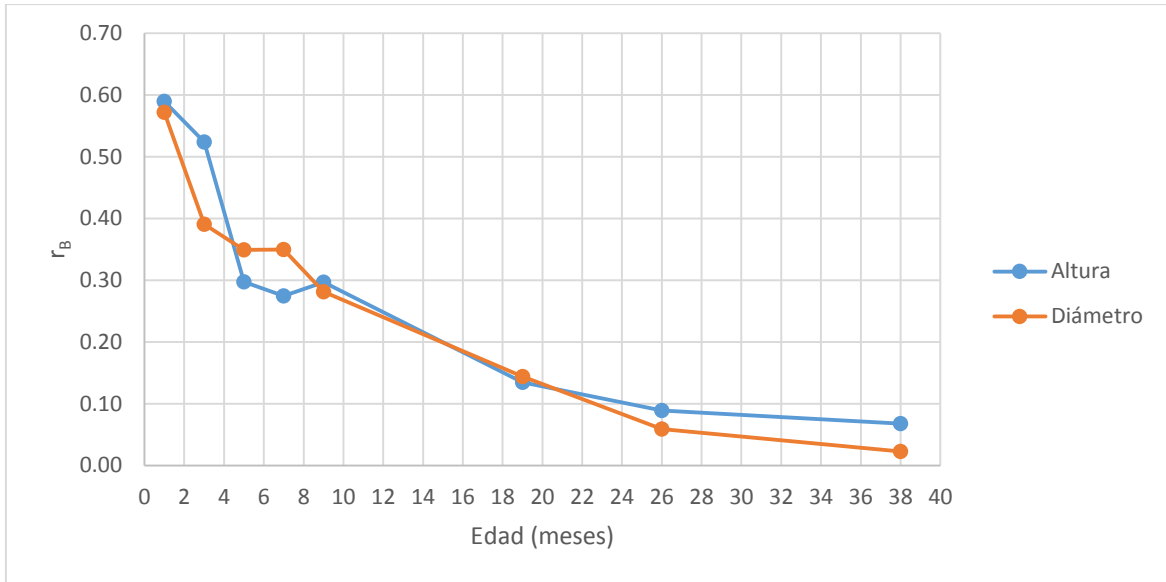


Figura 7. Correlación Tipo B ( $r_B$ ) para altura y diámetro de *Pinus pseudostrobus* Lindl., de la última medición de vivero (9 meses) con las evaluaciones de campo en un ensayo de progenies ubicado en Cuchaporo, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán a 2480 msnm.

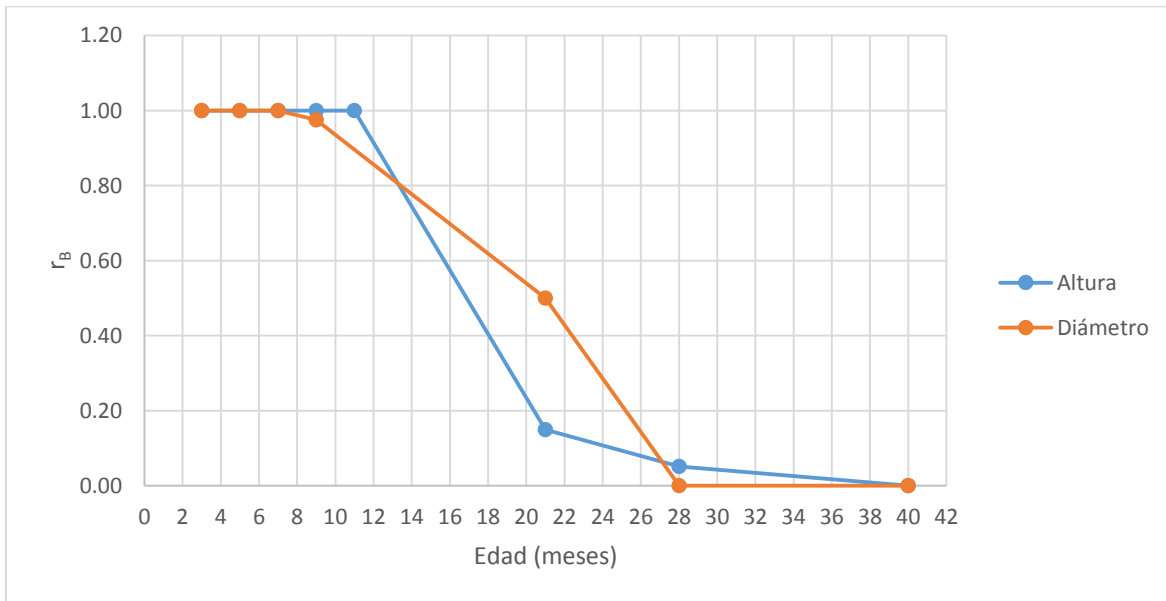


Figura 8. Correlación Tipo B ( $r_B$ ) para altura y diámetro de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la última medición de vivero (9 meses) con las evaluaciones de campo en un ensayo de progenies ubicado en Huiramo, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán a 3076 msnm.

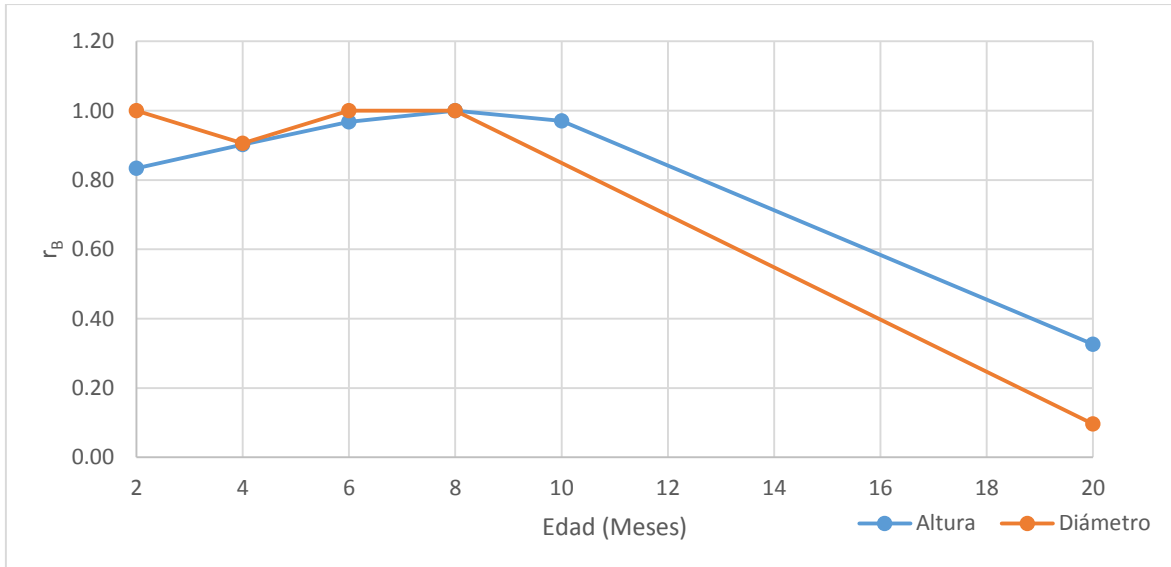


Figura 9. Correlación Tipo B ( $r_B$ ) para altura y diámetro de *Pinus pseudostrobus* Lindl de la última medición de vivero (meses) con las evaluaciones de campo en un ensayo de progenies ubicado en Tíscato, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán a 2723 msnm.

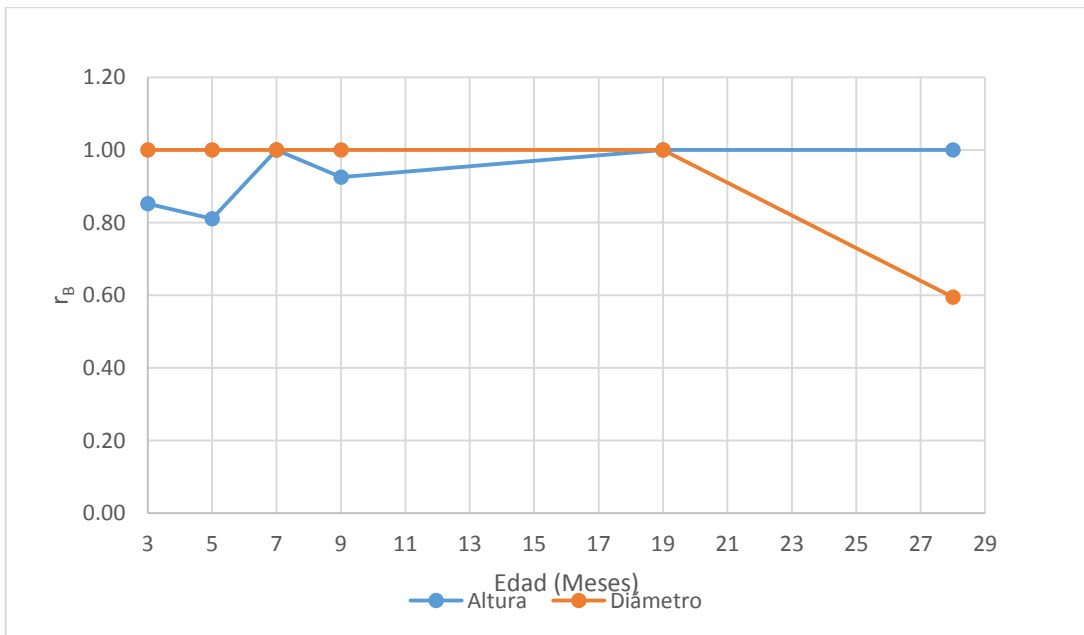


Figura 10. Correlación Tipo B para altura y diámetro de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en ensayos de progenies ubicados en tres sitios a diferente altitud: Huiramo a 3076 msnm, Tíscato a 2723 msnm y Cuchaporo a 2480 msnm en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

En los tres sitios el valor de  $r_B$  tuvo un comportamiento similar a través del tiempo en ambas variables, para altura fue alto en las primeras edades y sólo el diámetro tuvo un valor bajo a los 20 meses de edad. Los valores encontrados para altura son mayores a los reportados por Zas y Fernández-López (2004) que encontraron valores bajos de correlación para altura ( $0.13 \geq r_B \leq 0.52$ ) en familias de árboles plus de *P. pinaster* establecidas en cuatro sitios a los ocho años, proponiendo que tal valor se debe a pocas familias sensibles a la variación ambiental que pueden ser eliminadas durante la evaluación. Valores un poco mayores reportan Salaya-Domínguez *et al.* (2012) para altura en familias mejoradas de *Pinus patula* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham., a cinco y seis años del ensayo ( $r_B=0.59$  y  $r_B=0.56$ , respectivamente), que es mayor a lo encontrado para familias selectas a las mismas edades ( $r_B=0.06$  y  $r_B=0.0$ , respectivamente), proponen que tal diferencia es producto del mejoramiento y también así lo sugieren los altos valores encontrados para clones de *P. taeda* L., para 153 clones a 5 años  $r_B=0.84$  y para 195 clones 4 años  $r_B=0.88$  (Mckeand *et al.*, 2006).

Los valores de correlación encontrados en Huiramo y Tiscato en las primeras edades fueron altos, mostrando que las familias con mejor rendimiento en vivero lo siguieron siendo en campo, sin embargo, con la disminución del valor a través del tiempo y considerando que las evaluaciones fueron realizadas a edades tempranas, la estabilidad podría estar influenciada por un efecto materno (López *et al.*, 2003).

El análisis entre sitios a las edades de 3, 5, 7, 9, 19 y 28 meses, mostró que los genotipos fueron estables en altura durante todos los meses ( $0.81 \geq r_B \leq 1.0$ ) y a pesar de que en diámetro mostraron un mayor valor de correlación entre los tres y 19 meses ( $r_B=1.0$ ), su valor fue bajo a los 28 meses ( $r_B=0.6$ ) (Fig. 10), tales resultados muestran que el rendimiento temprano de los genotipos es similar al ser establecidos en cualquiera de los tres sitios.

## CONCLUSIONES

En vivero la altura presentó un mayor valor de heredabilidad en comparación al diámetro ( $0.68 \leq h^2_i \leq 0.83$  y  $0.73 \leq h^2_f \leq 0.77$ ;  $0.21 \leq h^2_i \leq 0.51$  y  $0.41 \leq h^2_f \leq 0.65$ , respectivamente).

La heredabilidad para altura y diámetro fue mayor en Tiscato que en Huiramo y Cuchaporo, sin embargo, el alto valor encontrado pudo estar influenciado por la mortalidad ocurrida en el sitio.

En Huiramo ambas variables mostraron altos valores de heredabilidad en los primeros meses de edad que disminuyó a partir de los nueve, tal disminución sugiere la influencia de efecto materno.

En Cuchaporo la heredabilidad para ambas variables fue relativamente baja pero más o menos estables a través del tiempo.

El análisis de los datos de la última medición en vivero con todas las edades en campo mostró que los genotipos fueron inestables en Cuchaporo en todas las edades, presentando valores bajos de correlación Tipo B. En Huiramo fueron estables en ambas variables hasta los 11 meses de edad. En Tiscato fueron estables en altura y diámetro hasta los 10 y 8 meses respectivamente.

El análisis de estabilidad de las familias incluyendo los tres sitios mostró que fueron estables en todas las edades en altura y la estabilidad en diámetro se perdió a los 28 meses de edad, la estabilidad en altura muestra que las familias no son sensibles a las variaciones ambientales y pueden ser establecidas en varios sitios.

## LITERATURA CITADA

- Amezcuca C., S. y Ángeles L. J. 2003. Las coníferas de Michoacán. Comisión Forestal del Estado. Boletín Técnico No. 4 Vol. 1. 48 p.
- Baltunis B. S., Gapare W. J. y Wu H. X. 2010. Genetic parameters and genotype by environment interaction in radiata pine for growth and wood quality traits in Australia. *Silvae Genetica* 59:113-124.
- Burdon, R. D. 1977. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genetica* 26:168-175.
- Falconer D. S. y Mackay T. F. C. 2001. Introducción a la genética cuantitativa. Acribia, S.A. Zaragoza, España, 469 p.
- Farfán Vázquez, E. de G., Jasso Mata J., López Upton J., Vargas Hernández J. J. y Ramírez Herrera C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 239-246.
- Franklin E. C. 1979. Model relating of genetic variance to stand development of four north American conifers. *Silvae Genetica* 28: 207-212.
- Greaves, B. L., Borralho N. M. G., Raymond C. A., Evans R., and Whiteman Ph. 1997. Age-age correlations in, and relationships between basic density and growth in *Eucalyptus nitens*. *Silvae Genet.* 46:264-270.
- Gutiérrez C. B. 2007. Supervivencia, crecimiento inicial e interacción con el sitio de progenies de árboles plus de pino oregón *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco. *Ciencia e investigación Forestal- Instituto Forestal Chile*. 13:273-284.
- López-Upton, J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A. (ed). *Tropical Tree. Seed Manual*. United States Department of Agriculture. Forest Service. USA. 636-637 p.
- López A. G., Potts M. B., Vaillancourt E. R. and Apiolaza A. L. 2003. Maternal and carryover effects on early growth of *Eucalyptus globulus*. *For. Res.* 33: 2108-2115 p.
- Mckeand S. E., Jokela E. J., Huber D. A., Byram T. D., Allen H. L., Li B. y Mullin T. J. 2006. Performance of improved genotypes of loblolly pine across different soils, climates, and silvicultural inputs. *Forest Ecology and Management* 227:1-2 178-184 p.

- Mora F. y Zamudio F. 2006. Variabilidad genética del crecimiento en progenies selectas de *Pinus radiata*. *Ciência Florestal* 16:399-405 p.
- Morales González E., López Upton J., Vargas Hernández J. J., Ramírez Herrera C., Gil Muñoz A. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Fitotecnia Mexicana* 36:155–162.
- Murillo O. 2001. Gnotype by environment interaction and genetic gain on unbalanced *Pinus oocarpa* provenances trials. *Agronomía Costarricense* 25:21-32.
- Ramírez-Mandujano C. A. 2012. Heredabilidad en caracteres cuantitativos en un ensayo de vivero en *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. de la cuenca del río angulo, Michoacán. *Biológicas*: 67-69.
- Salaya-Domínguez J. M., López-Upton J. y Vargas-Hernández J. J. 2012. Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46: 519-534.
- SAS Institute 2006. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A. 1028 p.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero C. y Guzmán-Reyna R. R. 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:333-338.
- White T. L., Adams W. T., Neale D. B. 2007. *Forest Genetics*. CABI. Oxfordshire. 682 p.
- Zas R. y Fernández-López J. 2004. Genotype x Environment Interaction in Maritime Pine Families in Galicia, Northwest Spain. *Silvae Genetica* 53:4 175-182 p.
- Zobel, B. J. y Talbert J. T. 1992. *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Limusa. México. 545 p.

## **INFLUENCIA DE FACTORES AMBIENTALES Y DEL SUELO SOBRE LA SOBREVIVENCIA EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE *Pinus pseudostrabus* LINDL. ESTABLECIDO EN DOS SITIOS**

### **RESUMEN**

En reforestaciones como en plantaciones forestales la supervivencia inicial está determinada por la fisiología y genética de la planta, factores ambientales y tipo de suelo, entre otros, por lo que con el objetivo de determinar el efecto de factores climáticos y edáficos sobre la supervivencia de la planta se estableció un ensayo de progenies con 36 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrabus* Lindl., de semilla de árboles fenotípicamente superiores seleccionados en los bosques de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, en dos predios: Huiramo ubicado a 3076 msnm y Cuchaporo a 2480 msnm, bajo un diseño de bloques completamente al azar con 33 y 7 repeticiones, respectivamente. Se realizaron mediciones de altura y diámetro de la planta a edades de entre 1 a 40 meses de edad después de la plantación y en cada medición se calculó el porcentaje de mortalidad-sobrevivencia para ser comparado con datos de precipitación y evapotranspiración de la red de estaciones agrometeorológicas de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, A. C. (APEAM) y se encontró que dichos factores ambientales tuvieron efecto sobre la mortalidad de la planta en los sitios, ocurriendo después de periodos de baja precipitación y mayor evapotranspiración. Se realizó un análisis de suelo en cada uno de los bloques de los sitios encontrando que las propiedades del suelo también tuvieron efecto sobre la supervivencia en Cuchaporo, siendo ésta mayor en los bloques con mayor capacidad de campo y menor resistencia a la penetración. En este sitio, los bloques donde las plantas tuvieron mayor crecimiento fueron aquellos con mayor conductividad eléctrica. En Huiramo ninguna de las propiedades del suelo tuvo relación con la supervivencia de la planta. Sin embargo, se encontró una relación entre la resistencia a la penetración y la altura promedio de la planta: los bloques con resistencia intermedia fueron aquellos en donde las plantas presentaron un mayor crecimiento. El análisis por sitio muestra que el suelo cuenta con las propiedades que requiere la especie, a pesar de la diferencia altitudinal que existe entre ellos, las propiedades físicas del suelo y proporción de materia orgánica fueron más altas en Huiramo

que en Cuchaporo. En Huiramo, las propiedades físicas del suelo: punto de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, fueron ligeramente más altas en los bloques con mayor sobrevivencia, en comparación de los bloques con mayor mortalidad.

Palabras clave: Precipitación, evapotranspiración, propiedades físico-químicas del suelo, sobrevivencia.

## INTRODUCCIÓN

Para el establecimiento tanto de reforestaciones como de plantaciones comerciales es importante tomar en cuenta los factores que pueden llegar a ser limitantes para el establecimiento y crecimiento de una plantación, tales como el suelo (estructura, nutrición, profundidad, entre otros), disponibilidad de agua y calidad de la planta (calidad genética y morfología) (Toral *et al.*, 2005).

South (2000) propone que la supervivencia inicial en las plantaciones está determinada, en orden de importancia, por las condiciones ambientales, manejo de planta, su morfología, fisiología y factores genéticos, refiriéndose a las condiciones ambientales como las del entorno donde será establecida la planta, que incluye la temperatura y la cantidad de lluvia poco después del establecimiento, tipo de suelo y contenido de agua en éste al momento de la plantación.

Existen modelos de balance hídrico que representan el suelo como un volumen con capacidad de retención hídrica limitada, sometido a la precipitación como un flujo de entrada, y a la evapotranspiración y escorrentía total como flujos de salida (Contreras 2006). Otros factores tienen influencia: la radiación solar, la temperatura, el tipo de cultivo, salinidad o baja fertilidad del suelo, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, siendo la magnitud del déficit hídrico y tipo de suelo los que determinan cómo afecta el contenido de agua en el suelo sobre la evapotranspiración (FAO, 2006).

En un estudio para evaluar los factores que determinan la productividad en *Pinus radiata* (Gerding y Schlatter, 1995) encontraron que la relación entre condiciones físicas del suelo y la precipitación explican en gran medida la variación de la producción en plantaciones de dicha especie, posteriormente, en un estudio con la misma especie, encontraron que el crecimiento en las plantaciones durante un periodo de 1998 al 2000 estuvo determinado por la disponibilidad de agua en el suelo afectada por la precipitación y evapotranspiración en dicho periodo (Huber y Trecaman, 2002). También se ha encontrado una correlación negativa ( $r = -0.93$ ) entre la supervivencia de procedencias de *Pinus canariensis* con la precipitación media anual de origen al ser establecidas en un medio árido (Climent *et al.*, 2002).

*Pinus pseudostrobus* Lindl., se distribuye en Michoacán sobre la Sierra Purhépecha, donde la precipitación media anual puede llegar a superar los 1,500 mm y la temperatura media anual es de 16.9 °C, con suelos profundos de 1 a 3 m, ligeramente ácidos, pardos o café amarillento, de buen drenaje, con alto contenido de nitrógeno, bajo contenido de fósforo, medianos contenidos de calcio y potasio (Sáenz *et al.*, 2011).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de factores climáticos y edáficos sobre la sobrevivencia en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl., establecido en dos sitios a diferente altitud.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se usaron datos de porcentajes de mortalidad/sobrevivencia de un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrabus* Lindl., de 36 familias de medios hermanos, provenientes de árboles fenotípicamente superiores, seleccionados en el bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, y establecido bajo un diseño de bloques completamente al azar en dos sitios a diferente altitud en dicho bosque, en Huiramo a 3076 msnm y en Cuchaporo a 2480 msnm con 33 y 7 bloques, respectivamente. Se realizaron mediciones de altura y diámetro de la planta a edades de entre 1 y 40 meses después de la plantación, en cada medición se determinaron porcentajes de mortalidad/sobrevivencia, y se usó sólo de la última medición en cada sitio la altura promedio de la planta en cada bloque.

### *Factores ambientales*

Se usó un promedio de datos mensuales de precipitación y evapotranspiración tomados de las estaciones San Juan Oeste-Rancho Nuevo., ubicada a 2367 msnm y San Juan-El Volcán a 2194 msnm, éstas pertenecientes a la red de estaciones agrometeorológicas de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, A. C. (APEAM), estaciones que se encuentran cercanas a los sitios del ensayo. Se usaron datos desde el año del establecimiento del ensayo (2012) hasta el 2015, estos fueron comparados con los porcentajes de mortalidad encontrados en cada una de las nueve mediciones realizadas en los sitios.

### *Análisis de propiedades del suelo por bloque en cada sitio*

Se tomaron muestras de suelo por bloque en cada uno de los sitios, en Huiramo se tomaron 33 muestras y en Cuchaporo 7, para determinar propiedades físicas y químicas del suelo.

### *Propiedades físicas*

**Resistencia a la penetración.** Fue determinada en campo por medio de un penetrómetro de impacto (Figura 1). Consistió en clavar una barra metálica hasta 30 cm en el suelo golpeándola con una masa que cae de cierta altura y el número de golpes necesarios expresa la energía necesaria para penetrar dicha altura.

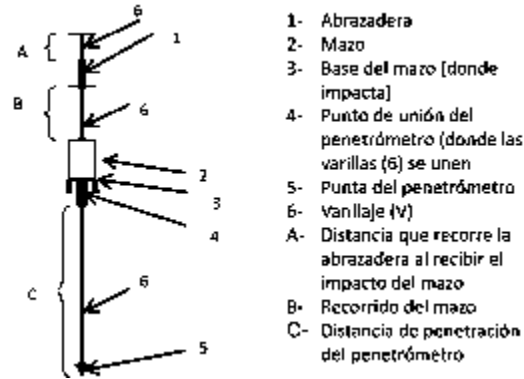


Figura 1. Penetrómetro de impacto.

**Capacidad de campo volumétrica.** De cada uno de los bloques se usó una cantidad conocida de suelo que se colocó en latas de aluminio, donde se llenó a saturación, proceso que se realizó varias veces para asegurarse que sí estuviera saturando el suelo, se pesó el suelo antes de saturar y saturado, al igual, se midió el volumen ocupado por éste. Después de 48 horas se consideró a capacidad de campo, se pesó y midió volumen, posteriormente se secó a una temperatura de 105° y nuevamente se pesó y midió.

**Índice de compactación.** Propiedad que resulta de la relación entre la capacidad de campo y cantidad de agua inicial.

Con los datos obtenidos del proceso anterior, se calculó peso seco del suelo, contenido de agua a saturación y capacidad de campo.

**Propiedades Químicas**

**Conductividad eléctrica y pH.** Se usó por bloque una dilución de 10g de suelo en 20 ml de agua destilada, que se dejó reposar tres horas, posteriormente se tomó la lectura en un potenciómetro Conductronic®.

**Concentración de NO3 y K.** Se usó por bloque una dilución de 10g de suelo en 20 ml de agua destilada, que se dejó reposar tres horas, posteriormente se determinó la concentración de nitrato (NO3) en un medidor de la marca Horiba® y la concentración de potasio (k) en un medidor compacto de la misma marca.

Se usaron los datos obtenidos de cada bloque de las propiedades físicas y químicas para realizar regresiones en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2006) con los porcentajes de sobrevivencia y altura promedio final de la planta en cada uno de los bloques.

### ***Análisis de laboratorio por sitio***

Se enviaron muestras de suelo al laboratorio Fertilab ® Fertilidad de Suelos S. de R. L., se tomó un muestra compuesta en Cuchaporo y en Huiramo dos, de acuerdo al patrón de mortalidad observado en el sitio, una de las muestras está constituida por los bloques que presentaron mayor supervivencia y la segunda formada por los bloques con alta mortalidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Relación entre factores ambientales y mortalidad en el ensayo*

Se encontró un evidente efecto de la precipitación y evapotranspiración sobre la mortalidad de las plantas en ambos sitios, en Huiramo se encontró que los eventos de mortalidad con mayor porcentaje fueron durante el periodo noviembre 2012 a julio 2013 (Figura 2). Teniendo el mayor porcentaje de mortalidad entre la medición de marzo y de mayo de 2013 (39 %), en el cual la precipitación en la región fue menor comparado con el mismo periodo pero del 2014.

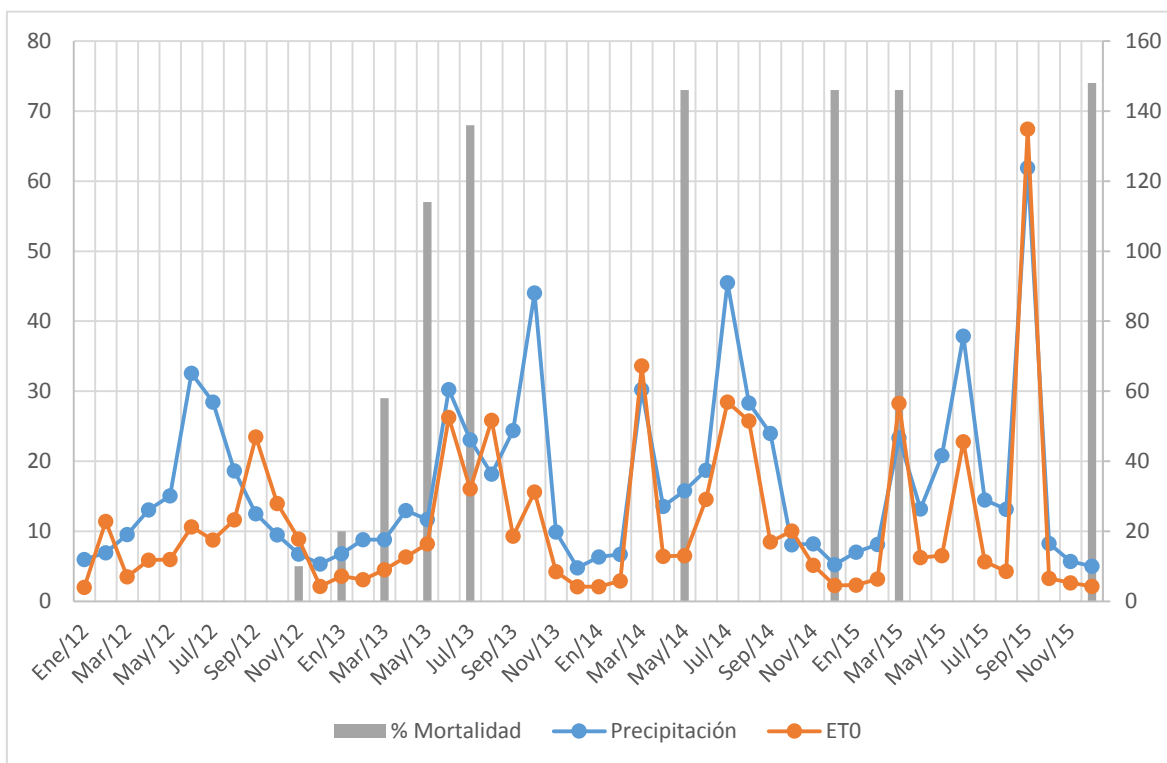


Figura 2. Relación entre porcentaje de mortalidad, precipitación y evapotranspiración (ET0) ocurrida en Huiramo durante el periodo 2012-2015.

En Cuchaporo la mortalidad fue menor que en Huiramo (Figura 3), teniendo también que eventos de mortalidad durante el periodo noviembre 2012 a julio 2013. El mayor porcentaje de mortalidad ocurrió entre la medición de julio 2013 a julio 2014.

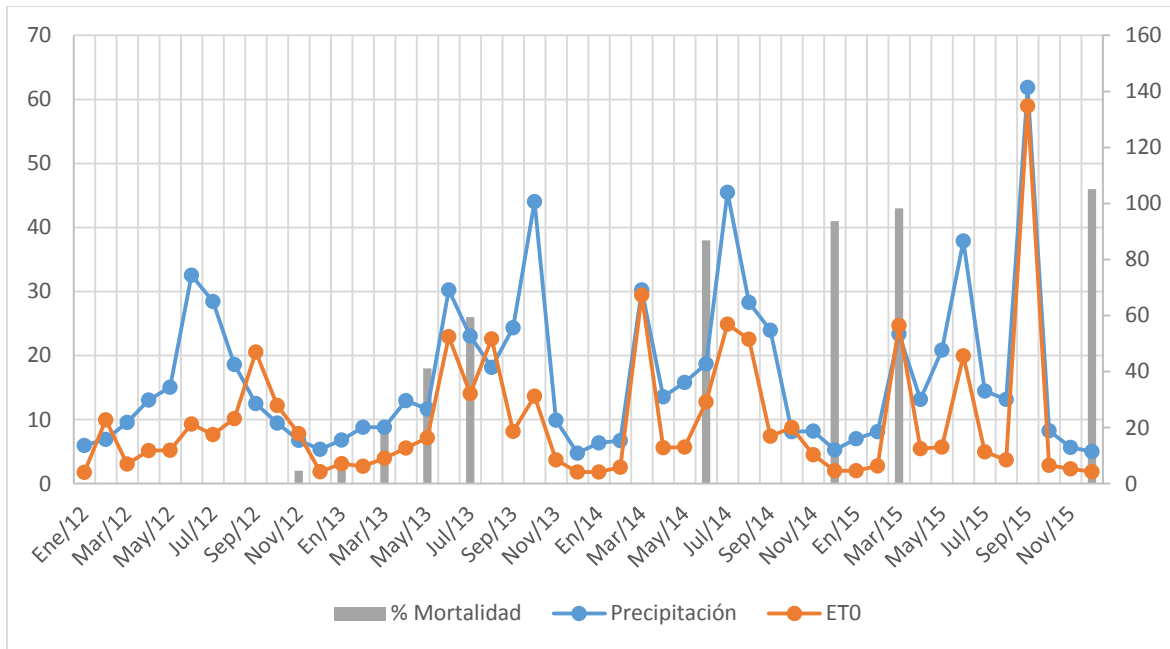


Figura 3. Relación entre porcentaje de mortalidad en Cuchaporo y precipitación ocurrida durante el periodo 2012-2015.

***Relación entre propiedades físicas y químicas del suelo por bloque en cada sitio***

En Huiramo de todas las propiedades físicas y químicas determinadas, la resistencia a la penetración es la única que presenta relación con otras de las propiedades, relacionándose con la capacidad de campo, mostrando que los bloques con mayor resistencia a la penetración presentan mayor capacidad de campo (Figura 4), sugiriendo que en éstos la proporción de poros medios y finos es mayor y por lo tanto, también la capacidad de campo (Theirs *et al.*, 2014). También mostró relación con el índice de compactación, donde los bloques con mayor resistencia a la penetración mayor compactación (Figura 5)

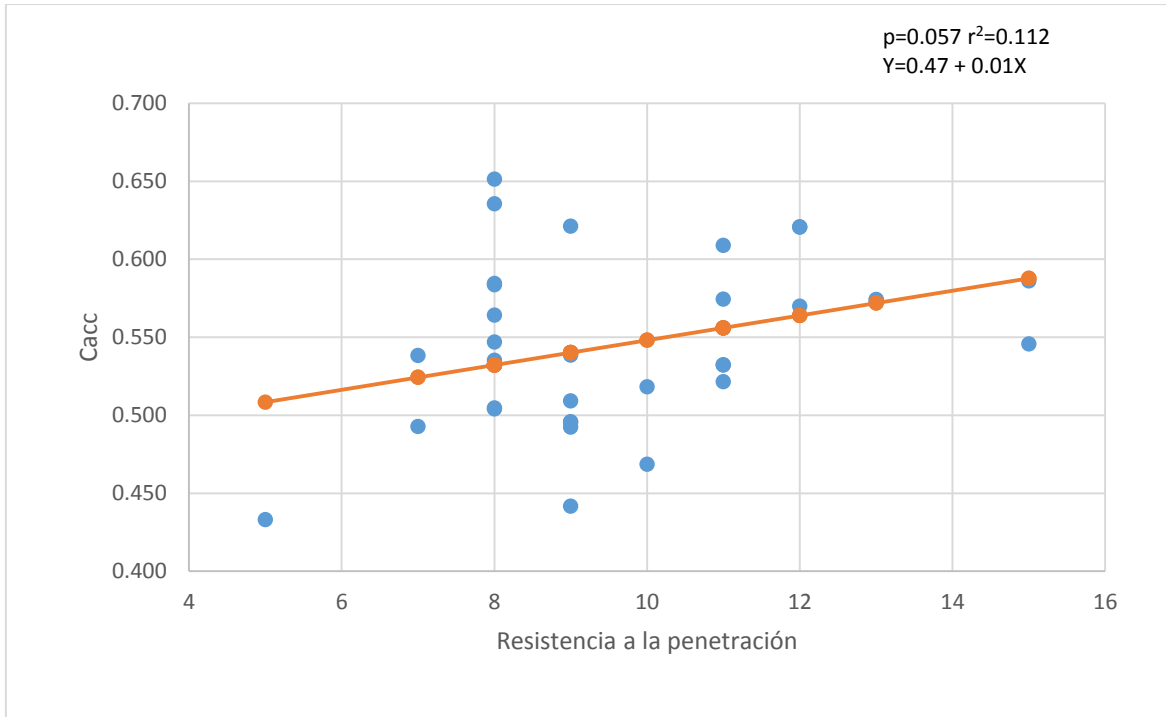


Figura 4. Relación entre la resistencia a la penetración y la capacidad de campo en cada uno de los bloques en Huiramo.

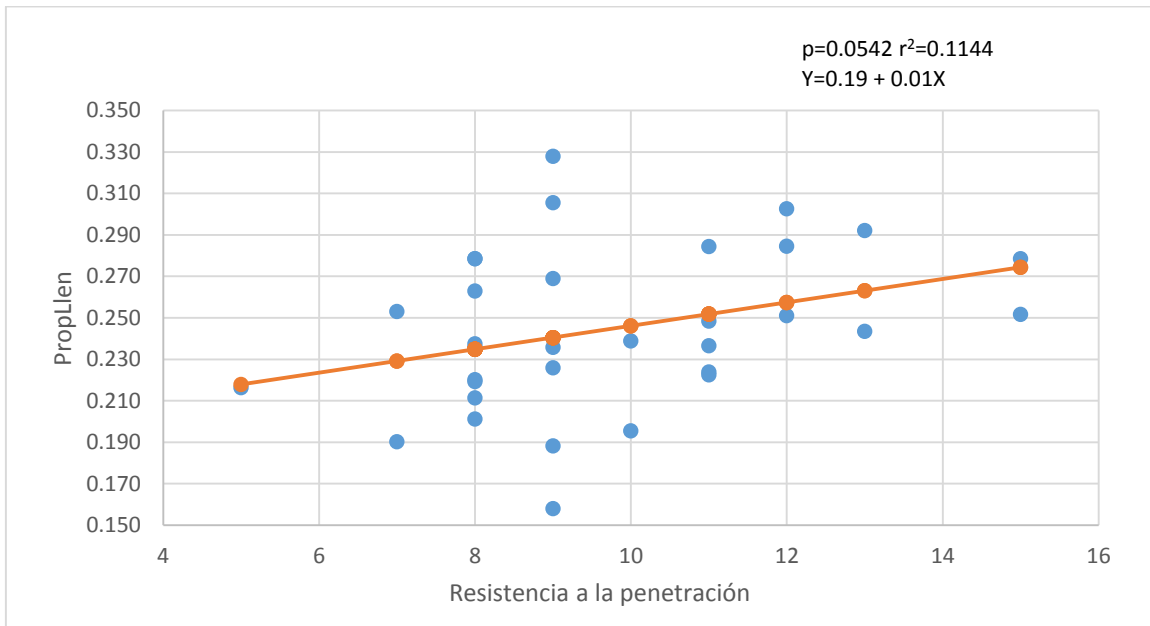


Figura 5. Relación entre la resistencia a la penetración y el índice de compactación en cada uno de los bloques en Huiramo.

En Cuchaporo sólo se encontró relación entre resistencia a la penetración y capacidad de campo y contrario a Huiramo, los bloques con menor resistencia a la penetración son los que presentan mayor capacidad de campo (Figura 6), mostrando lo esperado, que a mayor contenido de humedad menor resistencia a la penetración (Murillo *et al.*, 2010). Tal relación se ha reportado en varios trabajos de análisis de suelo donde han encontrado valores de  $r^2=0.7$  y  $r^2=0.66$  (Cazorla y Masiero, 2007), siendo estos menores a los encontrados en el presente estudio ( $r^2=0.93$ ).

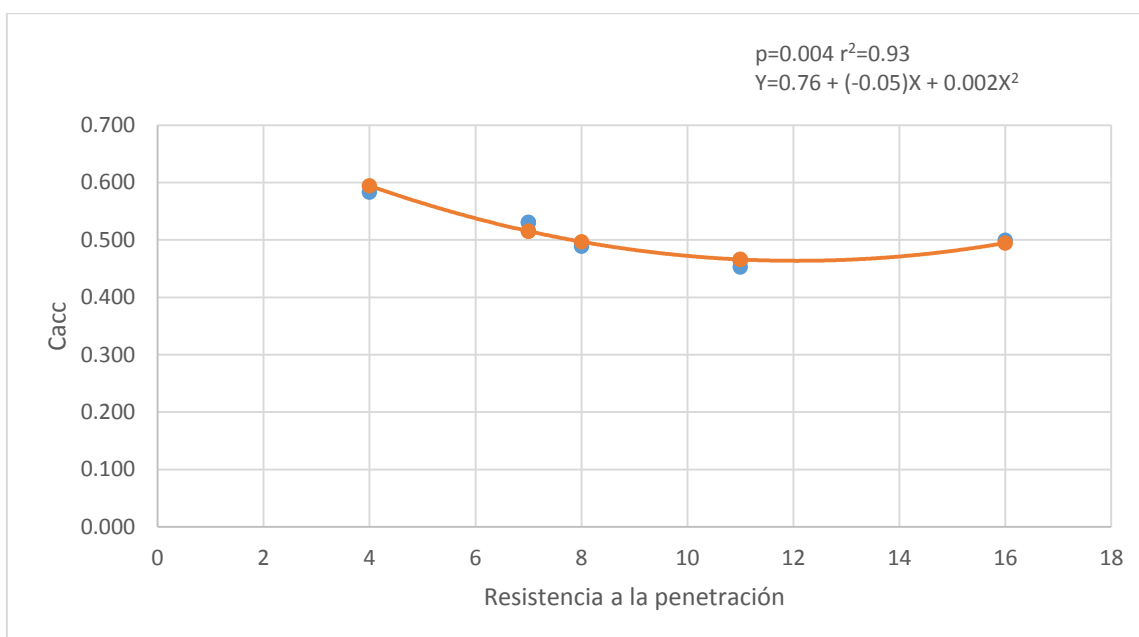


Figura 6. Relación entre resistencia a la penetración y capacidad de campo del suelo de cada bloque en Cuchaporo.

***Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el crecimiento y sobrevivencia de la planta***

En Huiramo ninguna de las propiedades mostró relación con la sobrevivencia de la planta en cada bloque, y sólo se encontró que la resistencia a la penetración tuvo influencia sobre el crecimiento de la planta, las plantas que presentaron mayor crecimiento son las que se encuentran en bloques con una resistencia a la penetración intermedia, donde se requirió entre 8 y 10 golpes para penetrar (Figura 7), esto sugiere que una resistencia a la

penetración intermedia es un rango óptimo que permite el crecimiento de la planta y no implica una barrera para el desarrollo radicular (Nacci y Pla, 1991).

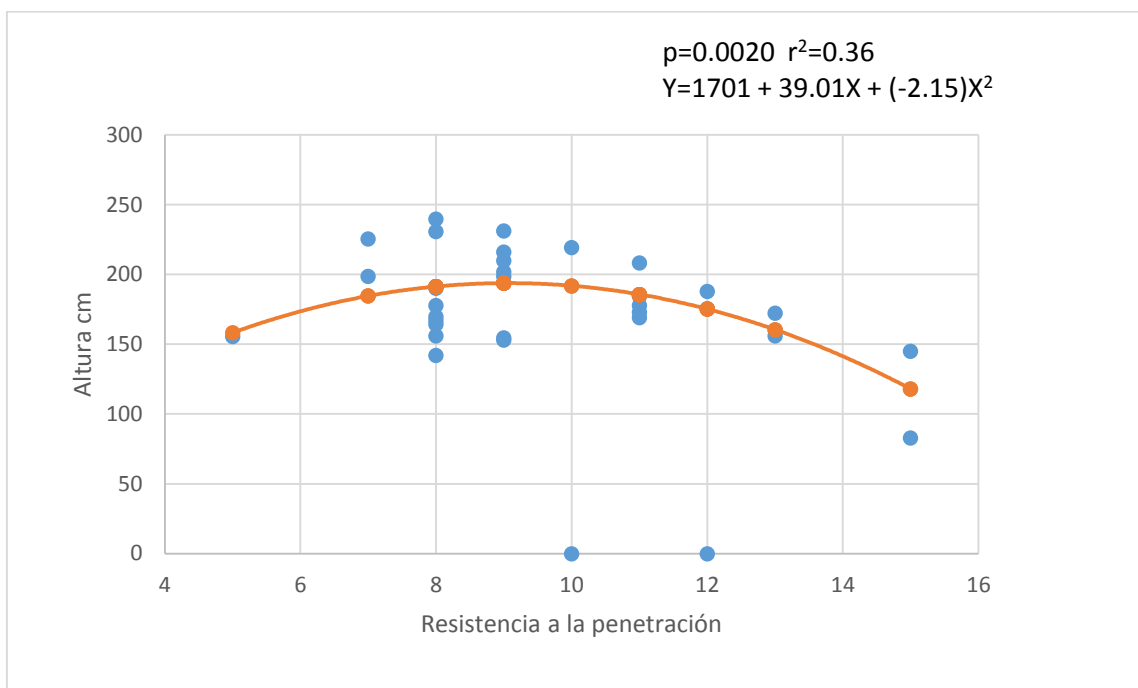


Figura 7. Relación entre la resistencia a la penetración del suelo y la altura promedio de la planta en Huiramo.

En Cuchaporo fue la capacidad de campo la que tuvo efecto sobre el porcentaje de sobrevivencia de la planta en cada bloque, mostrando que a menor capacidad de campo menor sobrevivencia (Figura 8), lo cual es de esperarse ya que muestra que en dichos bloques de mayor mortalidad la cantidad de agua disponible para las plantas fue menor (Thiers *et al.*, 2014).

En este sitio la altura se relacionó con la conductividad eléctrica (CE), las plantas presentaron mayor crecimiento en los bloques donde ésta fue mayor (Figura 9). En general, la conductividad eléctrica fue muy baja en los bloques, mostrando que existen pocos iones minerales en el suelo y también sugiere que la salinidad del suelo encontrada no es tan alta como para aumentar la presión osmótica que restrinja la absorción de agua por las raíces o de iones nutricionales esenciales (Villón, 2007).

En ambos sitios la resistencia a la penetración es la propiedad física con mayor influencia, ya sea relacionándose con otras propiedades o con el crecimiento de la planta, ya que puede

disminuir el desarrollo de las raíces y la capacidad de retención de agua, siendo ésta última una propiedad importante para la compensación en periodos de sequías, como se ha sido el caso para plantaciones de *Pinus radiata* que han presentado elevado crecimiento en suelos con adecuada capacidad de retención de agua ( Rodríguez, 2004; Blanco-Sepúlveda, 2009).

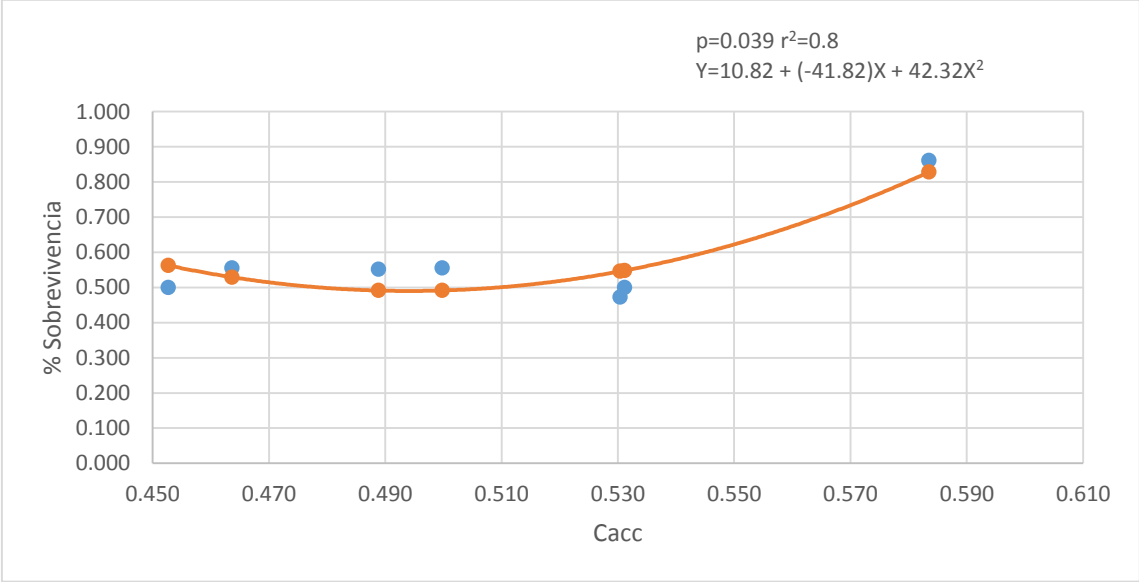


Figura 8. Relación entre porcentaje de sobrevivencia y capacidad de campo en cada bloque en Cuchaporo.

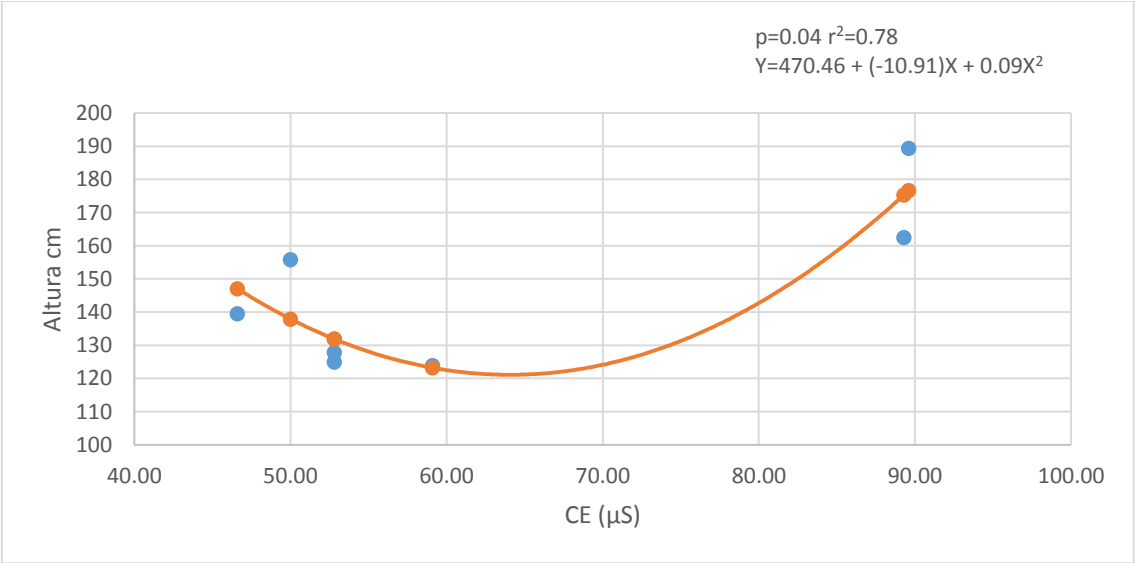


Figura 9. Relación entre altura promedio de la planta y la conductividad eléctrica de cada bloque en Cuchaporo.

### ***Propiedades del suelo por sitio***

De acuerdo al análisis del laboratorio, Cuchaporo, el sitio de menor altitud, cuenta con un suelo franco arenoso (Anexo 1), el cual es un poco diferente a Huiramo (Anexos 2 y 3), que tiene un suelo franco, en ambos sitios el pH del suelo es moderadamente ácido, lo cual permite que los nutrientes del suelo se encuentren disponibles para las plantas (Thompson y Troeh 2002). Huiramo es un sitio con mayor porcentaje de materia orgánica que Cuchaporo, ésta por presentar una alta capacidad de intercambio catiónico CIC favorece la asimilación de elementos nutritivos, al igual que su mineralización libera nutrientes que quedan disponibles para las plantas (De las Heras *et al.*, 2003), representa también un medio de crecimiento y que en cierta medida determina la estructura del suelo, la agregación, la porosidad y afecta la infiltración y aireación del suelo (Thiers *et al.*, 2014), lo cual se relaciona con que las propiedades físicas del suelo como punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchites permanente, conductividad hidráulica, densidad aparente y CIC hayan sido altas en Huiramo y menores en Cuchaporo.

Los resultados de Huiramo muestran cierta diferencia entre el suelo de los bloques donde hay mayor supervivencia (Anexo2) con respecto a los bloques de mayor mortalidad (Anexo 3), principalmente en punto de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, siendo altas y moderadas, respectivamente. Se encontró que en los bloques con mayor sobrevivencia el agua aprovechable es ligeramente mayor (12.1%) que en los bloques con mayor mortalidad (10.8%), tal dato resulta de la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchites permanente. Se ha encontrado que dichas propiedades físicas e hídricas son las que presentan mayor variabilidad en micrositos (Setterfield, 2001).

En cuanto a fertilidad, presentan poca diferencia en la concentración de nutrientes, siendo diferentes en la proporción de fósforo (P) que es mayor en los bloques de mayor mortalidad, siendo éste uno de los nutrientes que en mayor medida se considera limitante para el crecimiento de las plantas (Valverde *et al.*, 2005). La proporción de magnesio (Mg)

fue mayor en bloques de mayor supervivencia. Estas diferencias encontradas pudieron influir en la sobrevivencia de las plantas, sin embargo, también deben considerarse otros factores, como es el caso del efecto del ganado y roedores en el sitio.

De acuerdo a Sáenz *et al.* (2011) la especie habita en suelos con alto contenido de nitrógeno, bajo contenido de fósforo, medianos contenidos de calcio y potasio, y los resultados de laboratorio muestran que el suelo de los dos sitios tiene alto contenido de nitrógeno, en Cuchaporo es alto el contenido de fosforo y en Huiramo es bajo; en cuanto a calcio, es bajo en Cuchaporo y en Huiramo moderadamente bajo; el potasio es bajo en ambos sitios.

Los resultados encontrados muestran que a pesar de la diferencia altitudinal que existe entre los sitios (596 m), las propiedades de éstos son similares y permitieron el establecimiento de las plantas, a pesar de que al ser establecidas en Huiramo, éstas estuvieran un poco fuera de su rango de distribución de la especie, que en el área de estudio habita entre los 2200 y 2900 msnm (Sáenz-Romero *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

Se encontró que la precipitación y evapotranspiración tuvieron efecto sobre la mortalidad en cada sitio, en Huiramo la mayor mortalidad de las plantas ocurrió durante noviembre 2012-julio del 2013, periodo de baja precipitación. En Cuchaporo los valores de mortalidad fueron muy similares que en Huiramo ocurrida en el mismo periodo, sin embargo, presentó mayor mortalidad en julio de 2014.

De las propiedades físico-químicas del suelo en Huiramo la resistencia a la penetración fue la única que presentó relación con la capacidad de campo y el índice de compactación. También se relacionó con la altura promedio de las plantas en cada bloque, donde una resistencia a la penetración intermedia parece ser la óptima para el crecimiento de la planta, En Cuchaporo se encontró que a menos resistencia a la penetración mayor capacidad de campo del suelo. También que a mayor capacidad de campo del suelo es mayor la sobrevivencia de las plantas en cada bloque, al igual que en bloques con mayor conductividad eléctrica las plantas tuvieron un mayor crecimiento.

Los análisis de laboratorio mostraron que el tipo de suelo en ambos sitios es similar a pesar de la diferencia altitudinal que existe entre ellos. En Huiramo la diferencia es poca entre el suelo de los bloques de mayor sobrevivencia y los bloques mayor mortalidad, siendo tal vez la proporción de agua aprovechable la propiedad que tuvo mayor efecto en la mortalidad de la planta.

## LITERATURA CITADA

- Blanco-Sepúlveda R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43: 231-239 p.
- Cazorla C. y Masiero B. 2007. Resistencia a la penetración como indicador de compactación en ensayos de larga duración bajo siembra directa en Marcos Juárez. En: Aportes de la ciencia y la tecnología al manejo productivo y sustentable de los suelos del cono sur. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. 123-132p.
- Climent J. M., Gil L., Pérez E. y Pardos J. A. 2002. Efecto de la procedencia en la supervivencia de plántulas de *Pinus canariensis* Sm. En medio árido. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 11(1) 171-180 p.
- Contreras López S. 2006. Distribución espacial del balance hídrico anual en regiones montañosas semiáridas. Aplicación en Sierra de Gádor (Almería). Tesis doctoral. Departamento Hidrología y química analítica. Universidad de Almería. 15 p.
- De las Heras J., Fabeiro C y Meco R. 2003. Fundamentos de agricultura ecológica: realidad actual y perspectivas. Colección de Ciencia y Tecnología, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. 113 p.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 2006. Evapotranspiración del cultivo, guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 1-13 p.
- Gerding V. y Schlatter J. E. 1995. Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Bosque* 16(2) 39-56 p.
- Huber A. y Trecaman R. 2002. Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre el desarrollo de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en la zona de los arenales VIII Región, Chile. *Bosque* 23(2) 43-49 pp.
- Murillo A. U., Llobet J. B., Serra A. B. y Martín A. E. 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Prensas Universitarias de Zaragoza, Universitat de Lleida. 61 p.

- Nacci S. y Pla Sentis I. 1991. Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometria desarrollados en el país. *Agronomía Tropical* 42 (1-2) 115-132 p.
- Rodríguez Soalleiro R. 2004. Condiciones de las masas forestales y su relación con las propiedades de los suelos I. Recursos Rurais, Serie Cursos 1: 13-16 p.
- Sáenz, R. J. T., H. J. Muñoz-Flores y A. Rueda-Sánchez. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan, Michoacán. Libro Técnico Núm. 10. 64 p.
- Sáenz-Romero C., Rehfeldt G. E., Soto-Correa J. C., Aguilar-Aguilar S., Zamarripa-Morales V. y López-Upton J. 2012. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, México. Two location shadehouse test results. *Fitotecnia Mexicana* 35 (2) 111-121 p.
- SAS Institute 2006. SAS/STAT Guide for personal computers. Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, U.S.A. 1028 p.
- Setterfield S. A. 2001. Seedling establishment in an Australian tropical savanna: effects of seed supply, soil disturbance and fire. *Journal of Applied Ecology*, 39: 949–959 p.
- South D.B. 2000. +. Forestry and Wildlife Research Series N° 1. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 12 pp.
- Thiers O., Reyes J., Gerding V. y Schlatter J. E. 2014. Suelos en ecosistemas forestales. En Donoso C, ME González, A Lara eds. *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile*. Valdivia, Chile. Ediciones UACH. 133-178 p.
- Thompson L. M. y Troeh F. R. 2002. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté, cuarta edición 218 p.

Toral I. M, Fratti B. A y González R. L.A. 2005. Crecimiento estacional y rentabilidad de plantaciones forestales comerciales de pino radiata en suelos de trumao según método de establecimiento. *Bosque* 26 (1): 43-54 p.

Valverde Valdés T., Meave del Castillo J. A., Carabias Lilo J. y Cano-Santana Z. 2005. *Ecología y medio ambiente*. Pearson Educación México, primera edición. 30 p.

Villón Béjar M. 2007. *Drenaje*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, primera edición 523 pp.

APEAM <http://www.apeamclima.org/index.html> (Consultada en diciembre de 2015).

## **RESPUESTA EN CRECIMIENTO EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE *Pinus pseudostrabus* LINDL. ANTE EL MOVIMIENTO ALTITUDINAL**

### **RESUMEN**

El cambio climático está alterando la composición y estructura de muchas regiones del mundo, modificando la distribución de las especies, se propone a la migración asistida como la estrategia que permita a los genotipos ajustarse rápidamente a los hábitats cambiantes, por lo anterior, y con el objetivo de evaluar la respuesta en crecimiento ante el movimiento altitudinal se estableció en el 2012 un ensayo de progenies con 36 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrabus* Lindl., de semilla proveniente de árboles fenotípicamente superiores seleccionados en el bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, establecido en dos predios de dicho sitio bajo un diseño de bloques completamente al azar, en Huiramo ubicado a 3076 msnm con 33 repeticiones y en Cuchaporo a 2480 msnm con 7 repeticiones, se usaron datos de crecimiento promedio de cada familia a una edad de 40 y 38 meses después de la plantación, respectivamente, para encontrar la relación con el movimiento altitudinal de cada una al ser establecidas en los sitios, encontrando que la respuesta se ajusta a una regresión cuadrática ( $p=0.0002$ ,  $r^2=0.24$ ), donde las familias de los extremos del gradiente altitudinal fueron las de menor crecimiento, y contrario a lo esperado, fue en Huiramo en el sitio de mayor altitud, donde las familias presentaron un mayor crecimiento, en específico las subidas aproximadamente 500 m, lo que sugiere que la especie no sería afectada por la migración asistida, y al contrario, si en los objetivos se incluye mantener el crecimiento de las familias, en base a los resultados se podría concluir que dicho crecimiento se mantiene como si éstas se encontraran en su altitud de origen.

Palabras clave: Movimiento altitudinal, crecimiento.

## INTRODUCCIÓN

La distribución de las plantas está determinada por el clima, principalmente por la temperatura y precipitación, sin embargo, por efecto del cambio climático se está viendo alterada la composición, estructura y biogeografía en muchas regiones del mundo, mostrando los riesgos de posible aumento en la mortalidad de árboles por estrés fisiológico y otras interacciones como ataque por insectos, inducidos por el cambio climático (Gutiérrez y Trejo, 2013; Allen *et al.*, 2010).

Con el pronóstico de aumento en temperatura y disminución de la precipitación en México, para el año 2030, de 1.5 °C y 7 %, respectivamente (Sáenz-Romero *et al.*, 2010) las especies se encontrarán en la necesidad de migrar a sitios con ambientes a los cuales están adaptadas, sin embargo, la velocidad del cambio climático es mayor que la capacidad de desplazamiento de muchas especies (Pearson, 2006; Rehfeldt *et al.*, 2012), ante este panorama, son tres los mecanismos de respuesta de las especies: dispersión, el cual es un proceso lento; evolución adaptativa en el nuevo ambiente, o plasticidad fenotípica, que tal vez no sea suficiente (Premoli y Mathiasen, 2011; Sáenz-Romero, 2014).

A pesar de la controversia que existe sobre la migración asistida, ésta representa una herramienta para la adaptación de los bosques al cambio climático, para el movimiento rápido de las especies que les permita ajustarse a los hábitats cambiantes (Pedlar *et al.*, 2012; Sáenz-Romero *et al.*, 2011a), de igual manera, proporciona información importante para la creación de lineamientos para el movimiento de semillas (Sáenz-Romero *et al.*, 2011b).

Se espera que la distribución de las especies de montaña sufra cambios que incluyan ascensos altitudinales (Peñuelas y Boana, 2003), para lo cual se tienen resultados de pruebas de migración asistida con *Pinus devoniana*, *P. leiophylla* y *P. pseudostrobus* que reportan para *P. devoniana* que un movimiento de las poblaciones del rango inferior de distribución hacia zonas más frías, implica una pérdida de crecimiento del 80 %. Para *P. leiophylla* movimientos mayores a los 300 m hacia arriba, en el gradiente, el crecimiento disminuye un 20 %, y en el caso de *P. pseudostrobus* con movimientos de 300 m existe una disminución de entre 15 y 20 % (Castellanos-Acuña, 2013), similar a lo encontrado por González *et al.* (2013) para *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos

altitudes, donde el mayor crecimiento y sobrevivencia de las familias se encontró en el sitio ubicado a menor altitud.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta en crecimiento de *Pinus pseudostrabus* Lindl., en un ensayo de progenies de medios hermanos establecido en dos sitios a diferente altitud.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En el 2012 se estableció un ensayo de progenies con semilla de 36 familias de medios hermanos de árboles fenotípicamente superiores seleccionados en el bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, la semilla fue recolectada entre los 2200 y 2850 msnm en dicho bosque, el ensayo se estableció en el sitio llamado Huiramo ubicado a una altitud de 3076 msnm y en Cuchaporo 2480 msnm, con 33 y 7 repeticiones y un individuo por familia, respetivamente. Se realizaron nueve mediciones de altura y diámetro de la planta entre 1 y 40 meses después de la plantación. Se usó el paquete estadístico SAS para realizar una regresión entre crecimiento y movimiento altitudinal para cada familia, el movimiento altitudinal fue calculado con la siguiente fórmula:

Movimiento altitudinal= Altitud del sitio – Altitud de origen del árbol madre.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta en crecimiento ante el movimiento altitudinal se ajusta a una regresión cuadrática ( $p=0.0002$ ,  $r^2=0.24$ ), y contrario a lo esperado, las familias mostraron un mayor crecimiento en Huiramo, sitio ubicado a mayor altitud (3076 msnm), donde las familias que fueron subidas en promedio 500 m, presentaron mayor crecimiento (Fig. 1), lo cual difiere a lo reportado por Castellanos-Acuña *et al.* (2015) donde una disminución del crecimiento de las poblaciones se presentó con movimientos mayores de 400 m, pero puede ser similar a lo encontrado para *Pinus leiophylla* que presenta un crecimiento similar en todas las distancias a la que fueron movidas las poblaciones. También difiere a lo encontrado para *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes, donde se encontró un mayor crecimiento y control genético en el sitio ubicado a menor altitud (González *et al.*, 2013).

En Cuchaporo (2480 msnm) la mayoría de las familias fueron bajadas altitudinalmente de entre 50 a 350 m, siendo las familias movidas 350 m las que presentaron menor crecimiento (Fig. 1), en este sitio podemos considerar dicho movimiento como una prueba para evaluar el crecimiento de las familias en un sitio más cálido y seco que se espera exista en el 2030 (Castellanos-Acuña *et al.*, 2015), a lo cual se puede atribuir el menor crecimiento de las familias, al alejarse del clima al cual están adaptadas (Mátyás *et al.* 2010).

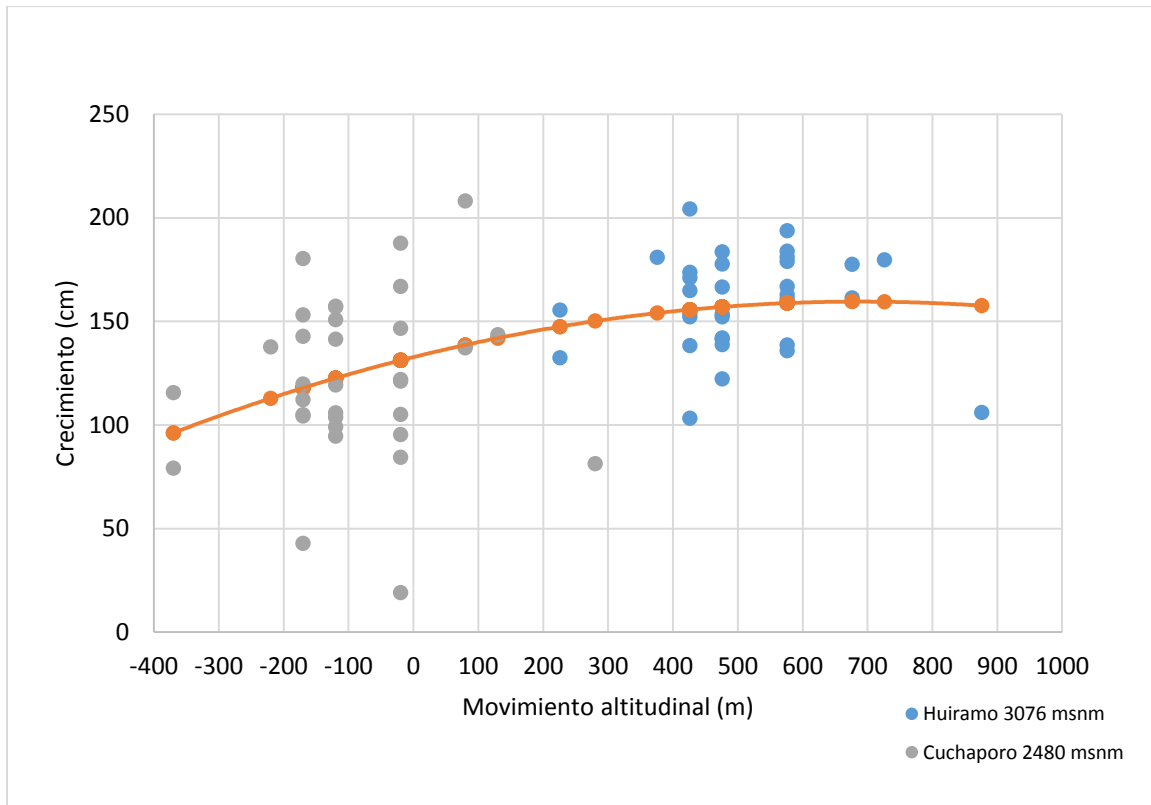


Figura 1. Respuesta en crecimiento ante el movimiento altitudinal de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en un ensayo de progenies establecido en dos sitios.  $Y=132.8 + 0.078X + (-0.0000565) X^2$ .

En el presente estudio las familias fueron desplazadas hacia arriba en altitud más de lo propuesto por Sáenz-Romero *et al.* (2012), quienes con base en resultados de variación genética altitudinal encontrada para la especie, proponen como medida de adaptación ante el cambio climático un movimiento de poblaciones de 300 m hacia arriba, y a partir de los resultados encontrados en este trabajo, se puede sugerir que un mayor movimiento de aproximadamente 500 m, no implica para la especie una reducción del crecimiento. Dicha distancia es mayor a la encontrada para *Pinus contorta* var. *latifolia*, *P. monticola* y *P. ponderosa* en un estudio realizado en British Columbia con información de huertos semilleros y proyecciones de temperatura y precipitación media anual, donde encontraron que estas especies pueden ser movidas 200 m (O'Neill *et al.*, 2008).

## **CONCLUSIONES**

El crecimiento de las familias fue similar en ambos sitios (Huiramo 3076 msnm y Cuchaporo 2480 msnm), a pesar de la distancia que fueron movidas al ser establecidas en Huiramo, las plantas del sitio ubicado a mayor altitud, mostró mayor crecimiento al subirlas aproximadamente 500 m en el gradiente altitudinal.

En Cuchaporo la mayoría de las familias fueron bajas altitudinalmente, presentando menor crecimiento en distancias más lejanas a su altitud de origen.

Los resultados del presente estudio sugieren que las familias de la especie pueden ser movidas altitudinalmente sin tener efecto sobre el crecimiento, lo cual representa información importante para creación de lineamientos para el movimiento de semillas.

## LITERATURA CITADA

- Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J., Allard G., Running S. W., Semerci K. y Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.
- Castellanos-Acuña D. 2013. Migración asistida de procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla* en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Tesis de maestría Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 60 p.
- Castellanos-Acuña D., Lindig-Cisneros R. y Sáenz-Romero C. 2015. Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. *Ecosphere* 6(1): 1-16.
- González Morales E., López Upton J., Vargas Hernández J. J., Ramírez Herrera C. y Gil Muñoz A. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Rev. Fitotec. Mex.* 36 (2): 155 – 162.
- Gutiérrez E. y Trejo I. 2013. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 179-188 p.
- Mátyás, C., Berki I., Czucz B., Gálos B., Móricz N., y Rasztovits E. 2010. Future of beech in Southern Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 6:91–110 p.
- O'Neill G. A., Ukrainetz N. K., Carlson M. R., Cartwright C. V., Jaquish B. C., King J. N., Krakowski J., Russell J. H., Stoehr M. U., Xie C., and Yanchuk A. D. 2008. Assisted migration to address climate change in British Columbia: recommendations for interim seed transfer standards. B.C. Min. For. Range, Res. Br., Victoria, B.C. 28 p.

- Pearson, R. G. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends Ecol. Evol.* 21(3): 111-113.
- Pedlar J. H., McKenney D. W., Aubin I., Beardmore T., Beaulieu J., Iverson L., O'Neill G.A., Winder R.S., y Ste-Marie C. 2012. Placing forestry in the assisted migration debate. *BioScience* 62(9):835-842.
- Peñuelas J. y Boana M. 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9:131-140 p.
- Premoli A. C. y Mathiasen P. 2011. Respuestas ecofisiológicas adaptativas y plásticas en ambientes secos de montaña: *Nothofagus pumilio*, el árbol que acaparó los Andes australes. *Ecología austral* 21(3):251-269.
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. Sáenz-Romero, and E Campbell. 2012. North American vegetation analysis for land use planning in a changing climate: A statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119-141.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu, and B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595-623.
- Sáenz-Romero C., Rehfeldt G. E., Crookston N. L., Duval P. y Beaulieu J. 2011a. Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca. Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán, 21 p.
- Sáenz-Romero C., Beaulieu J y Rehfeldt G. E. 2011b. Variación genética altitudinal entre poblaciones de *Pinus patula* de Oaxaca, México, en cámaras de crecimiento simulando temperaturas de calentamiento global. *Rev. Agrociencia*, 45: 399-411.
- Sáenz-Romero C. 2011c. 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. Grupo de Trabajo sobre Recursos Genéticos Forestales (GTRGF), Comisión Forestal de América del Norte (COFAN), FAO, ONU.

Sáenz-Romero. C., Rehfeldt G. E., Soto-Correa J. C., Aguilar-Aguilar S., Zamarripa-Morales V. y López-Upton J. 2012. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrabus* populations from Michoacán, México. Two location shadehouse test results. Revista Fitotecnia Mexicana 32 (2):111–120.

Sáenz-Romero C. 2014. Guía técnica para la planeación de la reforestación adaptada al cambio climático. Comisión Nacional Forestal. 72 p.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados del presente trabajo muestran la existencia de diferencias significativas entre las familias de medios hermanos en cuanto a altura y diámetro, sin embargo, durante la etapa de campo en algunas de las mediciones realizadas dicha diferencia no se encontró en Huiramo, esta falta de diferencia entre familias se puede atribuir al mes en que se realizó la medición, que en ocasiones coincidió con en el periodo en que la especie no presenta crecimiento, también la mortalidad de las plantas pudo afectar en el análisis de datos al disminuir el número promedio de plantas por familia. Esta falta de variación entre familias se vio reflejada en el valor de heredabilidad, siendo de cero en algunas mediciones, y fue hasta la última que tuvo un valor bajo.

El crecimiento similar de las familias en ambos sitios demuestra que se puede realizar movimiento altitudinal de la especie, sugiriendo un movimiento aproximado de 500 m, basado también en los resultados del análisis de correlación tipo B, donde se encontró que el comportamiento de las familias es similar en ambos sitios, estabilidad que es un buen indicador tanto si se evalúa la migración asistida o en cuestión de mejoramiento genético, sin embargo, en el caso de éste último, los resultados de heredabilidad sugieren que Cuchaporo es un mejor sitio, donde la heredabilidad de ambas variables que aunque fue moderada, fue constante durante el tiempo, ya que la mortalidad no fue tan alta como para afectar el valor.

Fue evidente que en ambos sitios la mortalidad se presentó después de periodos de baja precipitación y mayor evapotranspiración, cambiando así el balance hídrico, y que en conjunto con las propiedades físicas y químicas del suelo tuvieron influencia en la sobrevivencia de la planta.

# ANEXO 1. Resultados Cuchaporo



## Análisis que Rinden Frutos



Fertilab de Suelos S. de R.L.

### DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

#### INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	María Guadalupe Soto Ochoa		
No. de Registro	SU-45329	Cultivo Anterior	Ninguno
Fecha de Recepción	30/12/2015	Cultivo a Establecer	Ninguno
Fecha de Entrega	04/01/2016	Tipo de Abono Organico	Composta
Rancho o Empresa	San Juan Nuevo Parangaricutiro	Tipo de Agricultura	NA
Municipio	Nov. Parangaricutiro	Manejo de Residuos	NA
Estado	Michoacan	Meta de Rendimiento	NA
Identificación	Cuchaporo	Prof. Muestra	0-30 cm

#### Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural	Franco Arenoso		
Punto de Saturación	40.0	%	Mediano
Capacidad de Campo	21.3	%	Mediano
Punto March. Perm.	12.7	%	Mediano
Cond. Hidráulica	4.50	cm/hr	Mod. Alto
Dens. Aparente	0.94	g/cm <sup>3</sup>	

#### Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	1.96	%	[Bar chart showing MO at 1.96% in the 'Muy Bajo' range]						
P-Bray	33.6	ppm	[Bar chart showing P-Bray at 33.6 ppm in the 'Muy Alto' range]						
K	21.0	ppm	[Bar chart showing K at 21.0 ppm in the 'Bajo' range]						
Ca	311	ppm	[Bar chart showing Ca at 311 ppm in the 'Muy Alto' range]						
Mg	122	ppm	[Bar chart showing Mg at 122 ppm in the 'Bajo' range]						
Na <sup>+</sup>	19.0	ppm	[Bar chart showing Na+ at 19.0 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Fe	63.5	ppm	[Bar chart showing Fe at 63.5 ppm in the 'Muy Alto' range]						
Zn	1.07	ppm	[Bar chart showing Zn at 1.07 ppm in the 'Bajo' range]						
Mn	0.74	ppm	[Bar chart showing Mn at 0.74 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Cu	0.33	ppm	[Bar chart showing Cu at 0.33 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
B	0.06	ppm	[Bar chart showing B at 0.06 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Al <sup>+</sup>	2.46	ppm	[Bar chart showing Al+ at 2.46 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
S	8.17	ppm	[Bar chart showing S at 8.17 ppm in the 'Muy Alto' range]						
N-NO3	32.5	ppm	[Bar chart showing N-NO3 at 32.5 ppm in the 'Muy Alto' range]						

#### Relación Entre Cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	31.0	20.0	51.0	1.55
Interpretación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Bajo

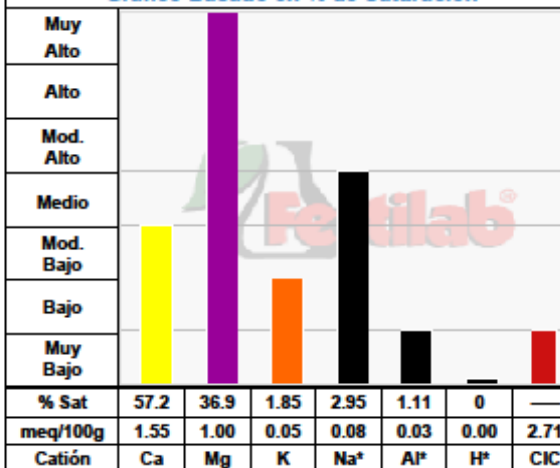
\* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

#### pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1.2 agua)	6.03	Mod. Acido
pH Buffer	6.67	
Carbonatos Totales (%)	0.01	% Libre
Salinidad (CE Extracto)	0.48	ds/m Muy Bajo
Requerimientos de Yeso	No Requiere	
Requerimientos de Cal	0.6	Ton/Ha

#### Cationes Intercambiables

#### Gráfico Basado en % de Saturación



PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

#### Interpretación Resumida del Diagnostico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH moderadamente acido. Suelo de modesta capacidad de retención de agua y nutrientes. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy bajo nivel de calcio. Suministro moderadamente alto de fósforo disponible. Deficiente en potasio. Suministro moderado en nitratos.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Moderadamente bajo en zinc. Muy pobre en manganeso. Bajo contenido de cobre. Muy pobre en boro.

Poniente 6. No. 200 Ciudad Industrial  
Celaya, Gto. C.P. 38010  
Tel. (461) 514 5238, 614 7951  
[www.fertilab.com.mx](http://www.fertilab.com.mx)

Supervisor de Análisis de Suelos  
Ing. José Trinidad Guzmán M.



Toda declaración es exclusiva, protegida y registrada por el Instituto Mexicano de Normas y Estándares (IMNOR) y es propiedad de FERTILAB DE SUELOS S. DE R.L.

## ANEXO 2. Resultados Huiramo, bloques con mayor sobrevivencia.



### Análisis que Rinden Frutos



## DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

### INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Maria Guadalupe Soto Ochoa	Cultivo Anterior	Ninguno
No. de Registro	SU-45330	Cultivo a Establecer	Ninguno
Fecha de Recepción	30/12/2015	Tipo de Abono Organico	Composta
Fecha de Entrega	01/01/2016	Tipo de Agricultura	NA
Rancho o Empresa	San Juan Nuevo Parangaricutiro	Manejo de Residuos	NA
Municipio	Nov. Parangaricutiro	Meta de Rendimiento	NA
Estado	Michoacan	Prof. Muestra	0-30 cm
Identificación	Huiramo # 1		

### Propiedades Físicas del Suelo

Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	56.0	%	Alto
Capacidad de Campo	30.0	%	Alto
Punto March. Perm.	17.9	%	Alto
Cond. Hidráulica	2.50	cm/hr	Mod. Bajo
Dens. Aparente	0.79	g/cm3	

### Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	5.29	%	[Bar chart showing MO at 5.29% in the 'Alto' range]						
P-Bray	2.19	ppm	[Bar chart showing P-Bray at 2.19 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
K	38.0	ppm	[Bar chart showing K at 38.0 ppm in the 'Bajo' range]						
Ca	1273	ppm	[Bar chart showing Ca at 1273 ppm in the 'Mod. Alto' range]						
Mg	101	ppm	[Bar chart showing Mg at 101 ppm in the 'Mod. Alto' range]						
Na <sup>+</sup>	14.0	ppm	[Bar chart showing Na+ at 14.0 ppm in the 'Bajo' range]						
Fe	52.8	ppm	[Bar chart showing Fe at 52.8 ppm in the 'Alto' range]						
Zn	3.47	ppm	[Bar chart showing Zn at 3.47 ppm in the 'Mod. Alto' range]						
Mn	1.26	ppm	[Bar chart showing Mn at 1.26 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Cu	0.69	ppm	[Bar chart showing Cu at 0.69 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
B	0.06	ppm	[Bar chart showing B at 0.06 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Al <sup>+</sup>	2.66	ppm	[Bar chart showing Al+ at 2.66 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
S	4.08	ppm	[Bar chart showing S at 4.08 ppm in the 'Bajo' range]						
N-NO3	26.5	ppm	[Bar chart showing N-NO3 at 26.5 ppm in the 'Mod. Alto' range]						

### Relación Entre Cationes (Basadas en me/100g)

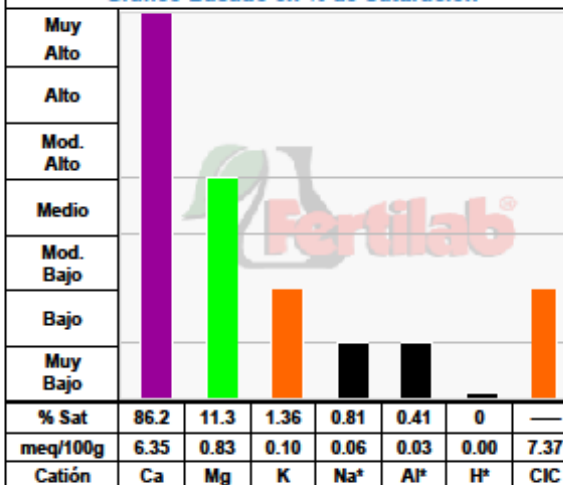
Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	63.5	8.30	71.8	7.65
Interpretación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto

### pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1.2 agua)	6.46	Mod. Acido
pH Buffer	6.27	
Carbonatos Totales (%)	0.01	% Libre
Salinidad (CE Extracto)	0.45	ds/m Muy Bajo
Requerimientos de Yeso	No Requiere	
Requerimientos de Cal	2.6	Ton/Ha

### Cationes Intercambiables

#### Gráfico Basado en % de Saturación



\* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

### Interpretación Resumida del Diagnostico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH moderadamente ácido. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy alto nivel de materia orgánica, con una conductividad hidráulica moderadamente baja. Muy deficiente de fósforo. Deficiente en potasio. Bajo contenido de azufre. Suministro moderado en nitratos.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Muy pobre en manganeso. Moderadamente bajo en cobre. Muy pobre en boro.

Poniente 6. No. 200 Ciudad Industrial  
Celaya, Gto. C.P. 38010  
Tel. (461) 514 5238, 614 7951  
[www.fertilab.com.mx](http://www.fertilab.com.mx)

Supervisor de Análisis de Suelos  
Ing. José Trinidad Guzmán M.



Toda documentación es exclusiva, protegida y registrada por el FERTILAB. Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra sin el consentimiento expreso de FERTILIDAD DEL SUELO S. DE R.L.

### ANEXO 3. Resultados Huiramo, bloques con mayor mortalidad.



## Análisis que Rinden Frutos



### DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

#### INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	María Guadalupe Soto Ochoa		
No. de Registro	SU-45331	Cultivo Anterior	Ninguno
Fecha de Recepción	30/12/2015	Cultivo a Establecer	Ninguno
Fecha de Entrega	01/01/2016	Tipo de Abono Organico	Composta
Rancho o Empresa	San Juan Nuevo Parangaricutiro	Tipo de Agricultura	NA
Municipio	Nov. Parangaricutiro	Manejo de Residuos	NA
Estado	Michoacan	Meta de Rendimiento	NA
Identificación	Huiramo # 2	Prof. Muestra	0-30 cm

#### Propiedades Físicas del Suelo

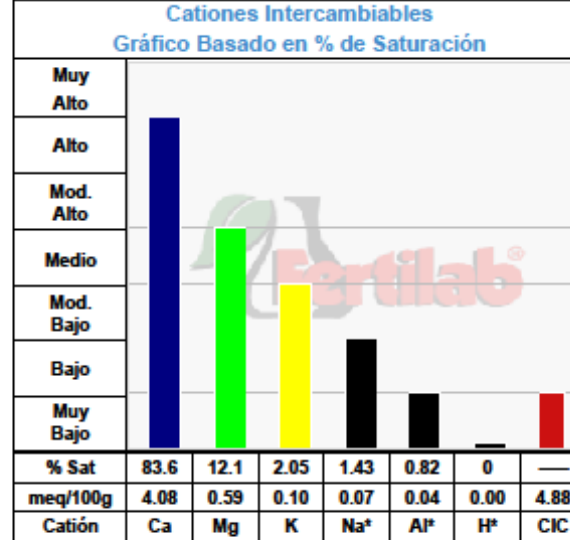
Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	50.0 %	Mod.	Alto
Capacidad de Campo	26.7 %	Mod.	Alto
Punto March. Perm.	15.9 %	Mod.	Alto
Cond. Hidráulica	3.80 cm/hr	Mediano	
Dens. Aparente	0.83 g/cm3		

#### pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado

pH (1.2 agua)	6.27	Mod.	Acido
pH Buffer	6.36		
Carbonatos Totales (%)	0.01 %	Libre	
Salinidad (CE Extracto)	0.48 ds/m	Muy Bajo	
Requerimientos de Yeso	No Requiere		
Requerimientos de Cal	2.2	Ton/Ha	

#### Fertilidad del Suelo

Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	4.49	%	[Bar chart showing MO at 4.49% in the 'Muy Alto' range]						
P-Bray	11.0	ppm	[Bar chart showing P-Bray at 11.0 ppm in the 'Bajo' range]						
K	39.0	ppm	[Bar chart showing K at 39.0 ppm in the 'Bajo' range]						
Ca	817	ppm	[Bar chart showing Ca at 817 ppm in the 'Alto' range]						
Mg	72.0	ppm	[Bar chart showing Mg at 72.0 ppm in the 'Bajo' range]						
Na <sup>+</sup>	15.0	ppm	[Bar chart showing Na+ at 15.0 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Fe	43.3	ppm	[Bar chart showing Fe at 43.3 ppm in the 'Alto' range]						
Zn	3.57	ppm	[Bar chart showing Zn at 3.57 ppm in the 'Bajo' range]						
Mn	0.67	ppm	[Bar chart showing Mn at 0.67 ppm in the 'Bajo' range]						
Cu	0.54	ppm	[Bar chart showing Cu at 0.54 ppm in the 'Bajo' range]						
B	0.02	ppm	[Bar chart showing B at 0.02 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
Al <sup>+</sup>	3.89	ppm	[Bar chart showing Al+ at 3.89 ppm in the 'Muy Bajo' range]						
S	5.45	ppm	[Bar chart showing S at 5.45 ppm in the 'Bajo' range]						
N-NO3	33.5	ppm	[Bar chart showing N-NO3 at 33.5 ppm in the 'Alto' range]						



#### Relación Entre Cationes (Basadas en me/100g)

Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	40.8	5.90	46.7	6.92
Interpretación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto

\* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

#### Interpretación Resumida del Diagnostico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH moderadamente ácido. Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy alto nivel de materia organica. Moderadamente bajo en fósforo. Deficiente en potasio. Bajo nivel de magnesio. Bajo contenido de azufre. Suministro moderado en nitratos. En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Muy pobre en manganeso. Moderadamente bajo en cobre. Muy pobre en boro.

Poniente 6. No. 200 Ciudad Industrial  
Celaya, Gto. C.P. 38010  
Tel. (461) 514 5238, 614 7951  
[www.fertilab.com.mx](http://www.fertilab.com.mx)

Supervisor de Análisis de Suelos  
Ing. José Trinidad Guzmán M.



Toda documentación es exclusiva propiedad y registrada por el FERTILAB. Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra sin el consentimiento expreso de FERTILIDAD DEL SUELO S. DE R.L.