



Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb.

Fernando Robles Villanueva¹

Dante Arturo Rodríguez Trejo^{1*}

Antonio Villanueva Morales¹

¹División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México.

*Autor por correspondencia, email: dantearturo@yahoo.com

Resumen:

Se evaluó la calidad de planta de *Pinus montezumae* en un experimento en vivero, laboratorio y en una plantación. Los árboles fueron producidos en un vivero forestal de Tetela del Volcán, estado de Morelos. A una muestra se les midieron indicadores de calidad de planta. La plantación se hizo en las faldas del volcán Popocatepetl. Se establecieron parcelas a 3 260 msnm y 3 170 msnm de las lomas reforestadas, sobre exposiciones norte y sur, con tres repeticiones para cada combinación de factor, con un total de 12. Cada parcela tenía un marco de plantación de 7 × 7

plantas, para evaluar la parte central (25 ejemplares) y evitar el efecto de borde. La densidad de plantación fue de 1 200 ha⁻¹. A 22 meses de establecida, se registró altura, diámetro, estado aparente y su condición de planta viva o muerta. Se aplicó un análisis de varianza a las variables de respuesta medidas en campo. Los resultados indican diferencias en supervivencia por exposición ($P = 0.0222$), con la norte (88.6 %) que supera a la sur (83.3 %). Los indicadores de calidad obtenidos son predictores de la supervivencia. Los valores medios y mínimos (máximos en el caso de la relación peso seco aéreo/peso seco raíz y del coeficiente de esbeltez) fueron de 13.6 y 5 mm para el diámetro; de 3.0 y 5.2 para la relación peso seco aéreo/peso seco raíz; de 1.2 y 3.9 para el coeficiente de esbeltez; de 4.7 y 1.5 para el índice de Dickson y de 55 y 29 para raíces nuevas en la prueba de crecimiento potencial de raíz.

Palabras clave: Calidad de planta, exposición, *Pinus montezumae* Lamb., plantación, restauración, Tetela del Volcán.

Fecha de recepción/Reception date: 25 de abril de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de mayo de 2017.



Introducción

Los bosques desempeñan un papel clave en la regulación del clima en el planeta y brindan, bienes y servicios de forma directa o indirecta. Entre 2005 y 2010 su área se ha reducido, paulatinamente, a razón de 155 000 ha por año, a causa de la extracción ilícita de madera, el cambio de uso de suelo para la agricultura y ganadería, el incremento de la mancha urbana y el mal uso del fuego (Inegi, 2013). Para 2014, la Comisión Nacional Forestal registró 5 325 incendios sobre 155 533.52 ha en toda la república mexicana, la mayoría de ellos ocasionada por quemas agropecuarias y varios por cambio de uso de suelo. Este último es el mayor factor de deforestación, debido a que genera ingresos económicos a corto plazo. Ante tales pérdidas, durante los últimos años en México se ha incrementado la reforestación y la restauración de ecosistemas (Conafor, 2014). Con base en la información proporcionada por el Inegi (2013), en 2011 se reforestaron 2 268.38 km² en el país; lamentablemente, la supervivencia de estas plantaciones es baja.

Con el propósito de abastecer de planta a dichos programas, existen cientos de viveros forestales en todo el país, y solo una parte de ellos opera con tecnología avanzada, pero se sigue experimentando en la producción, lo que obedece, en parte, a que el número de especies involucradas va en aumento. Con frecuencia no se cuenta con información técnica sobre cómo producir las especies que se trabaja por primera vez.

En las zonas donde se lleva a cabo la reforestación, los valores de supervivencia son contrastantes, y se les asocia con la sequía, las heladas, el sobrepastoreo u otros factores ambientales y con el uso inapropiado del fuego, entre otras razones; a estas habría de agregarse la calidad de planta, cuya contribución es decisiva.

Una planta de calidad es la que tiene los atributos para sobrevivir y crecer en el sitio de plantación (Duryea, 1985a). El tema tiene décadas de ser investigado en Estados

Unidos, y entre los trabajos sobresalientes sobre calidad de planta están los de Duryea (1985b) y el de Landis *et al.* (2010). En México una de las aportaciones pioneras es la de Prieto *et al.* (1999), pero no es hasta este siglo cuando este aspecto comenzó a recibir más atención en el país.

Rodríguez (2007) refiere que los componentes y operaciones que más pueden afectar la calidad de planta son el tamaño de bolsa o contenedor; la densidad; el trasplante; el tipo de sustrato; los riegos; la fertilización; las micorrizas; la temperatura; la luz; las remociones y podas de raíz para producción en bolsa; los cuidados contra plagas y enfermedades; la correcta fase de endurecimiento; la carga, transporte y descarga, y la concentración, arrime y plantación deficientes.

De acuerdo con el mismo autor, el control de calidad de planta se debe visualizar de dos formas: la primera, para obtener ciertos estándares morfológicos y fisiológicos, que denotan su calidad; y la segunda, que está relacionada con la especificación de dichos estándares evaluados estadísticamente en campo, mismos que, en México, han sido escasamente evaluados.

La calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. ya ha sido estudiada por Bautista *et al.* (2005) y Hernández *et al.* (2014). Sin embargo, no abarcan la gran diversidad de las prácticas en vivero, como la fertilización, los sustratos, los contenedores, entre otros factores, así como las variadas condiciones de plantación en campo, de modo que todavía queda un amplio margen para la investigación sobre el tema y la especie. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto de la calidad de planta de *P. montezumae* producidos en vivero y plantados en dos altitudes y dos exposiciones.



Materiales y Métodos

Zona de estudio

El vivero forestal "Tetela del Volcán" depende de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS), del Gobierno del Estado de Morelos y está ubicado en el municipio Tetela del Volcán, entre las coordenadas geográficas 18°52'27.25" N y 98°42'54.27" O (Figura 1).



Figura 1. Localización del municipio Tetela del Volcán, Morelos.

En el municipio se registran cuatro diferentes tipos de clima, en función de la altitud. La zona en que se desarrolló el presente estudio se ubica a 3 200 msnm,

registra clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 16 a 17 °C y precipitación media anual de 1 073.2 mm (Inegi, 2009).

Producción de planta

La planta utilizada para el presente trabajo se cultivó en charolas de 49 cavidades con 150 ml de capacidad por contenedor. El sustrato fue una mezcla de turba de musgo (42 %), vermiculita (31 %), agrolita (27 %) además de 4 kg m⁻³ de fertilizante granular Osmocote® 15-9-12. En la etapa de establecimiento, se aplicó fertilizante Ultrasol Inicial® 15-30-15, 112 ppm N, 99 ppm P y 93 ppm K. En la etapa de crecimiento se aplicó fertilizante Ultrasol® 20-10-20, con 144 ppm N, 32 ppm P y 120 ppm K. Para la etapa de endurecimiento fue aplicado el fertilizante *Peters* finalizador 4-25-35, con 26 ppm N, 70 ppm P y 186 ppm K. Se suministró inóculo micorrízico (Glumix®) tanto a la siembra como 20 días después, con 15 g por cavidad en cada aplicación. Como los brinzales no fueron plantados, permanecieron 22 meses en el vivero.

Evaluación de planta en vivero

Las plantas evaluadas fueron seleccionadas bajo un muestreo aleatorio en las platabandas del vivero. De acuerdo con Rojas (2002), la intensidad de muestreo sugerida es de 0.5 % para poblaciones mayores a 50 000 plantas. Sin embargo, el autor recomienda bajar dicha intensidad, cuando se trata de viveros tecnificados y con producción homogénea. En este trabajo se obtuvo una muestra de 0.33 %, por lo que se seleccionaron 200 plantas de las 60 000 que se produjeron. Se les midió la altura (cm), el diámetro del cuello (mm); se estimó el porcentaje de micorrización, asignando un valor en escala del 0 al 100, en el que cero equivale a

la aparente ausencia de micorrizas en el cepellón y 100 a estar completamente lleno de micorrizas.

También fue evaluada la arquitectura aérea y radical mediante observación. Se dio un valor de 3, si no había daños, 2 si 30 % de la plántula presentaba alguno, y 1 si más de 50 % de la planta los tenía. Las plantas fueron enviadas al sitio de reforestación.

Evaluación de planta en laboratorio

En esta evaluación se trabajó con una muestra aleatoria destruible de 0.16 % del total de plantas producidas. Se llevaron 96 brinzales al Laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, para medirlos.

Se realizó el mismo procedimiento de medición que en el vivero, además se deshizo el cepellón para limpiar la raíz, medir su longitud (cm) y contar las raíces secundarias > 1 cm.

Para continuar con la evaluación, fueron separadas las acículas del tallo, este de la raíz, y pesadas cada una de las partes por separado. A continuación, se embolsaron y etiquetaron. Las bolsas se colocaron dentro de los hornos de secado del laboratorio, a una temperatura constante de 75 °C. Después de 5 a 7 días, el peso fue constante. Entonces, se pesaron cada una de las muestras para obtener el peso seco total, del follaje, del tallo y de la raíz por planta con una balanza *Ohaus*, modelo *Navigator*.

Indicadores de calidad de planta

La mayoría de estos indicadores, y sus modelos, fueron tomados de Duryea (1985b) y de Landis *et al.* (2010). Se consideraron los siguientes atributos: altura de la planta, diámetro del cuello de la planta, porcentaje de micorrización, arquitectura de la parte aérea y de la raíz. Además, se obtuvieron los siguientes indicadores de la muestra destructible: longitud de raíz principal y número de raíces secundarias > 1 cm.

Para calcular la relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical (A/S), se utilizó el siguiente modelo:

$$A/S = PSA/PSS$$

Donde:

PSA = Peso seco de la parte aérea

PSS = Peso seco de la parte subterránea o raíz

El peso relativo de la parte aérea (PR_A) se calculó conforme al modelo siguiente:

$$PR_A = PSA/PST$$

Donde:

PSA = Peso seco de la parte aérea

PST = Peso seco total

El peso relativo de la raíz o parte subterránea (PR_R) se determinó con base en el siguiente modelo:

$$PR_R = PSS/PST$$

Donde:

PSS = Peso seco radical

PST = Peso seco total

El Coeficiente de Esbeltez (CE) se calculó con el modelo enunciado a continuación:

$$CE = (A/D)$$

Donde:

A = Altura de la planta

D = Diámetro de la planta

Para el Índice de Dickson (ID) se utilizó el modelo:

$$ID = PST / ((PSA/PSS) + (A/D))$$

Donde:

PST = Peso seco total de la planta

PSA = Peso seco de la parte aérea

PSS = Peso seco radical

A/D = Coeficiente de Esbeltez

Con los datos obtenidos en esta fase, se llevó a cabo una Correlación de Pearson, mediante el programa SAS (SAS, 2012). Además de evaluar los anteriores indicadores, también se realizaron las siguientes dos pruebas de calidad de planta.

Prueba de crecimiento potencial de raíz. Se utilizaron cuatro macetas de plástico de 4 l cada una, a las cuales se les llenó con una mezcla de sustrato de 1/3 de agrolita, 1/3 de vermiculita y 1/3 de turba de musgo. Posteriormente, se trasplantaron tres brinzales a cada una. Estas macetas se dejaron en invernadero por un mes, durante el cual se les aplicaron riegos cada dos días (a una temperatura de 23 - 28 °C, con una humedad relativa de 60 - 75 %). Transcurrido ese mes fueron extraídas del contenedor, con el fin de poder contar las raíces nuevas > 1 cm que sobresalían del cepellón. Tales raíces nuevas fueron identificadas por ser de color blanco y turgentes (Landis *et al.*, 2010).

Prueba de tensión hídrica. Se usó la cámara de *Scholander PMS Instrument*, modelo 1000. Se utilizaron 10 plantas, de las cuales se obtuvo la parte superior de su tallo con un corte diagonal, la cual se insertó en la tapa de la cámara, misma que cierra otra en la que queda la muestra y se le aplica presión con gas N. De esta forma, se ejerce la presión necesaria para comenzar a extraer el agua (Landis *et al.*, 2010). La primera evaluación se les hizo a cinco plantas después de un riego y a las otras cinco se les midió siete días después, sin que fueran regadas durante tal periodo, por lo que ya presentaban estrés hídrico. Desde la noche anterior a su medición, todas las plantas fueron mantenidas en un cuarto oscuro fresco. Para el análisis estadístico de esta prueba, se llevó a cabo una prueba de *t de Student* con el propósito de comparar las medias de los ejemplares bajo los dos tratamientos aplicados.

Evaluación en la reforestación

La plantación fue establecida en agosto de 2013 y su evaluación se realizó en junio de 2015, es decir en un lapso de 22 meses. Se registró la altura, el diámetro, y la condición de vitalidad de cada una de ellas (viva o muerta).

Se ubicaron parcelas en la parte alta (3 260 msnm) y baja (3 170 msnm) de un cerro, en suelos forestales, de origen volcánico, en exposición norte y sur, tres en cada combinación de altitud y exposición, es decir, 12 parcelas en total. Se trató de un experimento factorial de 2×2 . Cada parcela consistía en un marco de plantación de 7×7 plantas, para evaluar solo la parte central, 5×5 (= 25 plantas) para evitar el posible efecto de borde. La densidad de plantación fue de $1\ 200\ ha^{-1}$. Por lo tanto, se midieron 12 parcelas con 25 plantas cada una (300 plantas en total); a los datos se les aplicó un análisis de varianza mediante el programa SAS (SAS, 2012).

Resultados y Discusión

Evaluación de planta en vivero

Los resultados indican que las alturas y los diámetros promedio para *P. montezumae* están dentro de los intervalos de calidad referidos para otros pinos, como *P. devoniana* Lindl. (Reyes *et al.*, 2014; Sáenz *et al.* 2014). Esta especie es cespitosa (Perry, 1991), pero no en todas sus poblaciones, como sucede con *P. hartwegii* Lindl. (Rodríguez, 2015). La elevada variabilidad de alturas de la muestra sugiere que la planta producida en vivero tuvo diferentes niveles de intensidad en la manifestación del citado carácter. También debe considerarse que la planta estuvo en vivero varios meses más de lo que generalmente se acostumbra para especies cespitosas (Reyes *et al.*, 2014) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Resumen de datos de las variables evaluadas en el vivero.

Variable	Máxima (o)	Mínima (o)	Promedio
Altura (cm)	37	2	17.8
Diámetro (mm)	24	6	15.1
Micorrización (%)	100	0	10.3

Con respecto a las arquitectura aérea y radical, 77.5 % de las plantas son de buena calidad, 17 % media y 5.5 % mala. Lo anterior, junto con los niveles de micorrización y la elevada supervivencia que se detallan más adelante, muestran que este material vegetal es aceptable.

Evaluación de planta en laboratorio

Si bien se trata de planta que pasó casi dos años en el vivero, rebasa los estándares de diámetro basal establecidos para la especie, de 6 a 11.5 mm (Bautista *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2014) o para *P. devoniana*, con hasta 13.5 mm (Sáenz *et al.*, 2014; Bernaola *et al.*, 2015); ambas especies permanecieron un año en el vivero, en contenedores semejantes, del orden de 160 a 220 cm³.

La relación PSA/PSS calculada fue elevada, igual a 3. No obstante, tal valor fue más bajo que los obtenidos en otras investigaciones, como el intervalo referido por Aguilera *et al.* (2016), de 3.1 a 4.6 en diferentes tratamientos de fertilización, a pesar de que utilizaron contenedores 10 cm³ más grandes que en este trabajo. Cabe señalar que, de los estudios citados en esta sección, solamente el de Bautista

et al. (2005) considera establecimiento de plantación en campo, al igual que el presente trabajo.

Otro indicador, el índice de Dickson, arrojó valores altos, si bien la recomendación de Sáenz *et al.* (2014) para otra especie cespitosa, *P. devoniana*, es de ≥ 1.2 . Los datos de laboratorio evaluados se expresan en el Cuadro 2.

Las correlaciones de Pearson de los datos procedentes de las 11 variables evaluadas en laboratorio (Cuadro 3), solamente indican las que resultaron significativas entre las variables evaluadas, con $p < 0.05$ y con el coeficiente de correlación ≥ 0.4 . Destacan variables sencillas de medir, como la altura y el diámetro, pero en particular el peso seco total.

Prueba de crecimiento potencial de raíz

Se observó una respuesta vigorosa de la planta para la producción de raíces nuevas (media de 55.3, máxima, 86 y mínima, 29), lo cual es un buen indicador de calidad de planta, ya que el brinzal tendrá mayor facilidad para aclimatarse al sitio de plantación y, por lo tanto, su desarrollo será mejor y, aumentará su porcentaje de supervivencia (Ritchie y Landis, 2003).

Cuadro 2. Estadísticas básicas de las variables evaluadas en laboratorio.

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Diám (mm)	13.6	3.5	5	25
Alt (cm)	14.9	8.6	2	40
Mico (%)	9.4	18.4	0	100

Raíz (cm)	11.6	5.5	4	42
Raíces	14.6	3.9	7	31
Arq	2.6	0.7	1	3
PSA (g)	4.2	1.9	0.7	9.6
PST (g)	3.4	2.0	0.5	10.3
PSR (g)	2.6	1.2	0.4	5.9
PSA/PSS	3.0	0.8	1.0	5.2
PSA/PST	0.7	0.1	0.5	0.8
PSS/PST	0.3	0.1	0.2	0.5
CE (cm/mm)	1.2	0.7	0.1	3.9
ID	4.7	1.8	1.1	9.7

Diám = Diámetro del cuello; Alt = Altura; Mico = Porcentaje de micorrización del cepellón; Raíz = Longitud de raíz principal; Raíces = Número de raíces mayores a 1 cm; Arq = Arquitectura de parte aérea y radical; PSA/PSS = Relación entre peso seco aéreo y peso seco radical; PSA/PST = Peso relativo de la parte aérea; PSS/PST = Peso relativo de la raíz; CE = Coeficiente de esbeltez; ID = Índice de Dickson.

Se considera que, para la especie de pino estudiado, una media de 55 raíces nuevas (mínimo 29) generadas en la prueba de crecimiento potencial de raíz, implica la supervivencia promedio obtenida en las áreas de reforestación, con 88.6 % para exposiciones norte y 83.3 % para exposiciones sur, en las condiciones experimentales descritas. Cabe mencionar que, en otros trabajos se hace referencia a una menor cantidad de raíces nuevas en periodos similares, como Simpson y Vyse (1995), quienes con más de 10 raíces nuevas calcularon una supervivencia en campo mayor a 70 % en *Picea glauca* (Moench.) Voss y *Pinus contorta* Douglas.

Cuadro 3. Correlaciones de Pearson.

Variables		R²	P
Diám	PSA	0.53097	< 0.0001
Alt	PSA	0.4043	< 0.0001
Mico	PSA	0.46079	< 0.0001
Raíz	Raíces	0.43885	< 0.0001
PST	Diám	0.43251	< 0.0001
PST	Alt	0.58125	< 0.0001
PST	Mico	0.46416	< 0.0001
PST	PSA	0.85309	< 0.0001
PSR	Diám	0.56928	< 0.0001
PSR	Mico	0.41354	< 0.0001
PSR	PSA	0.78232	< 0.0001
CE	Alt	0.87445	< 0.0001
ID	Alt	0.64378	< 0.0001
ID	PSA	0.62388	< 0.0001

Diám = Diámetro del cuello; Alt = Altura; Mico = Porcentaje de micorrización del cepellón; Raíz = Longitud de raíz principal; Raíces = Número de raíces mayores a 1 cm; PSA = Peso seco de la parte aérea; PST= Peso seco total de la planta; PSR = Peso relativo de la raíz; CE = Coeficiente de esbeltez; ID = Índice de Dickson.

En ambientes favorables y con especies que son buenas productoras de raíces nuevas, la prueba de CPR proporciona sus mejores resultados (Ritchie y Landis, 2003). El número de raíces nuevas referida en el párrafo anterior para las tres especies comparadas, hace suponer que *P. montezumae* tiene esa capacidad. El hecho de que el ambiente de plantación no haya sido limitativo, lo que muestra la buena supervivencia obtenida, indica que, para esta especie y la localidad seleccionada, hizo que la CPR fuera satisfactoria. Este procedimiento debe realizarse bajo condiciones similares al sitio de plantación para tener un resultado más cercano a la realidad (Folk y Grossnickle, 1997), tal como se hizo en el presente trabajo.

Prueba de tensión hídrica

La prueba de t de *Student* arrojó diferencias entre las lecturas de planta con y sin tensión hídrica ($p= 0.029$). Las plantas regadas el día anterior a esta prueba, tuvieron una media de 0.71 MPa, mientras que las que permanecieron sin riego durante una semana alcanzaron 1.36 MPa. De acuerdo con Landis *et al.* (1989), la primera cifra está dentro del intervalo recomendado para el periodo de endurecimiento, cuando se cultivan especies forestales en contenedores. La segunda supera la tensión a que se debe someter a las plantas en el vivero, incluso durante la etapa de endurecimiento, ya que nunca se debe rebasar de 1 MPa, pues esto afecta el crecimiento y aumenta las probabilidades de daños y mortalidad. Por otra parte, esta prueba deja ver que, aproximadamente, por cada día que pasa sin que se riegue la planta, aumenta la tensión en 0.19 MPa.

Evaluación de planta en la reforestación

De acuerdo con la comparación de evaluación de vivero y de campo, durante el tiempo de plantación los brinzales han tenido un crecimiento del orden de 1 cm en

altura y de 1.5 a 2.5 mm en diámetro, en las distintas condiciones del experimento (Cuadro 4). Si bien la supervivencia es alta, el escaso crecimiento en altura obedece a que se trata de una especie cespitosa (Perry, 1991).

No se detectaron diferencias significativas por ningún factor individual, ni por su interacción, ni para la altura ni para el diámetro. En el caso de la supervivencia, sí hubo efecto de la exposición ($P = 0.0222$), con la norte (88.7 %) que superó a la sur (83.3 %) (Cuadro 5). Los datos de la estación meteorológica Tetela del Volcán indican que los años 2013 y 2014 fueron húmedos, con 1 293.5 y 1 179.6 mm, respectivamente. Tan abundante precipitación pudo contribuir a que la diferencia de humedad entre exposiciones fuera menor, con una pequeña diferencia en supervivencia y sin diferencias significativas en diámetro. La supervivencia sobre la ladera sur fue semejante a la referida por Bautista *et al.* (2005) (83.8 %) para la misma especie, en sitios un poco más elevados (3 368 msnm) y planos (2 % de pendiente) en el centro de México. Dicha planta fue establecida con diámetros a la base > 6 mm, pero la supervivencia en la ladera norte superó esta última cifra, posiblemente debido a que es más húmeda con respecto a los terrenos planos.

Cuadro 4. Evaluación de la reforestación, 22 meses después de establecida.

Exposición	Altitud (msnm)	Altura promedio (cm)	Diámetro promedio (mm)	Supervivencia promedio (%)
Norte	3 260 (Alta)	19.07	17.63	89.3
Norte	3 170 (Baja)	18.65	16.65	88
Sur	3 260 (Alta)	18.94	16.67	80

Sur	3 170 (Baja)	18.83	17.19	86.6
-----	-----------------	-------	-------	------

Cuadro 5. Significancia de factores para altura, diámetro y supervivencia.

Variable	Factor o Interacción	P
Altura	Exposición	0.958
	Altitud	0.5614
	Exposición * Altitud	0.7301
Diámetro	Exposición	0.7416
	Altitud	0.7097
	Exposición * Altitud	0.2459
Supervivencia	Exposición	0.0222
	Altitud	0.195
	Exposición * Altitud	0.0667

Conclusiones

Se obtuvo planta de calidad de *P. montezumae* con alta supervivencia en campo (>83 %), a 22 meses de su plantación. Los brinzales alcanzaron desarrollos satisfactorios, pero se considera que la producción puede lograrse en menor tiempo y que los esquemas de fertilización pueden ser afinados.

Los parámetros de calidad obtenidos en el presente trabajo, pueden ser considerados como predictores de una supervivencia de por lo menos 83 % en las condiciones del estudio, que incluyen dos años sin limitaciones de humedad. A pesar de la elevada humedad durante el periodo de plantación del estudio, en la exposición norte se registró mayor supervivencia, lo que se relaciona con la aún

mayor humedad que tipifica a tal exposición en el hemisferio norte. No se confirmó un efecto de la altitud, posiblemente debido a que la diferencia entre las parcelas estudiadas fue muy poca (90 m).

Es posible que tales indicadores también lo sean para años secos, aunque probablemente con menor supervivencia, debido a que la planta es robusta y con diámetros y proporción de raíz grandes. No obstante, sería recomendable incrementar el suministro de hongos micorrízicos, ya que bajo las condiciones que produce el vivero en la actualidad, la planta exhibe bajo contenido.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), al Programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, al vivero Tetela del Volcán y al Gobierno del Estado de Morelos, por los apoyos brindados para la realización del presente trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Fernando Robles Villanueva: diseño de la investigación, trabajo de campo y laboratorio, análisis de datos, escritura y edición del manuscrito; Dante Arturo Rodríguez Trejo: diseño de la investigación, dirección de la investigación, trabajo de

campo y laboratorio, análisis de datos, escritura y edición del manuscrito; Antonio Villanueva Morales: diseño de la investigación, dirección de la investigación, análisis de datos, escritura y edición del manuscrito.

Referencias

Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz Ch. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.

Bautista Z., N., V. M. Cetina A., G. Vera C. y C. T. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb. producidos en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. *Ra Ximhai* 1: 167-176.

Bernaola P., R. M., J. F. Zamora N., J. de J. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M. y E. Salcedo P. 2015. Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema de doble trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33): 74-93.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. Programa Nacional Forestal 2014 – 2018.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5382Programa%20Nacional%20Forestal%202014-2018.pdf> (22de junio de 2015).

Duryea, M. L. 1985a. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In*: Duryea, M. L. (ed.). *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 1-4.

Duryea, M. L. 1985b. *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Oregon State University. Corvallis, OR USA. 143 p.

Folk, R. S. and S. C. Grossnickle. 1997. Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13(1-3): 121-138.

Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz Ch., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tetela del Volcán, Morelos. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/17/17022.pdf> (23 de junio de 2015).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2013. Estadísticas del día mundial forestal, 21 de marzo de 2013. <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2013/bosques0.pdf> (20 de junio de 2015).

Landis, T. D., R. W. Tinus; S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation. The container tree nursery manual. USDA Forest Service Agriculture Handbook 674. Vol. 4. Washington, DC, USA. 119 p.

Landis, T. D., R. K. Dumpofse and D. L. Haase. 2010. Seedling processing, storage and outplanting. The container tree nursery manual. USDA Forest Service. Agriculture Handbook 674. Vol. 7. Washington, DC, USA. 199 p.

Perry Jr., J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, OR USA. 231 p.

Prieto R., J. A., G. Vera C. y M. Bermúdez E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico 12. INIFAP. México, D. F., México. 23 p.

Ritchie, G. A. and T. D. Landis. 2003. Seedling quality tests: root growth potential. *Forest Nursery Notes*. USDA, Forest Service. R6-CP-TP-01-03. Portland, OR, USA. pp. 4-6.

- Rodríguez T., D. A. 2007. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. México, México, D. F., México. 156 p.
- Rodríguez T., D. A. 2015. Incendios de vegetación. Su Ecología, manejo e historia. UACH, C. P., Semarnat, Conafor, Conanp, PNIP, PPCIF, FMCN, Gobierno del Estado de Tabasco. Texcoco, Edo. de Méx., México. 814 p.
- Rojas, F. 2002. Metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en vivero. Universidad Autónoma Chapingo, Revista Chapingo, Ciencias Forestales y del Ambiente 8 (1): 75-81.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., C. M. A Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(26): 98-111.
- Statistical Analysis System (SAS). 2012. Statistical Analysis System. Ver. 9.4. SAS Institute. Cary, NC, USA. n/p.
- Simpson, D. G. and A. Vyse. 1995. Planting stock performance: site and RGP effects. The Forestry Chronicle 71(6): 739-742.