



Calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base de aserrín

Seedling quality of *Pinus greggii* produced in sawdust-based growing media

Julio César Vicente-Arbona¹, Violeta Carrasco-Hernández^{*}, Dante Arturo Rodríguez-Trejo¹
y Antonio Villanueva-Morales¹

¹ Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Maestría en Ciencias en

Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México, México.

^{*} Autora de correspondencia. violeta@colpos.mx

RESUMEN

En México la superficie deforestada es elevada y los porcentajes de supervivencia de planta en programas de reforestación son bajos. Uno de los factores claves para aumentar la supervivencia es tener una planta de buena calidad. En la producción de planta en viveros de México se utilizan básicamente dos tipos de sustratos: uno dominado por suelo de monte (en viveros tradicionales) y otro con una proporción importante de turba de musgo (viveros tecnificados). El primero altera las áreas naturales, ya de por sí perturbadas y el segundo es costoso. Debido a lo anterior, el presente trabajo tiene por objeto evaluar la calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. producidas en diferentes sustratos a base de aserrín, con fertilización e inoculación con un hongo ectomicorrízico. Las plantas permanecieron en invernadero y se evaluaron a los 10 meses. La calidad de planta se evaluó mediante indicadores e índices morfológicos y fisiológicos. También se analizaron las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados en el presente estudio. En términos generales, las plantas calificaron con una calidad media a alta. Los tratamientos que obtuvieron mayor número de buenas calificaciones en los indicadores de calidad correspondieron principalmente a los inoculados. El mejor tratamiento correspondió a un sustrato con 80% de aserrín y 20% de corteza de pino, 8 g de fertilizante de liberación controlada y 75 ppm de nitrógeno. Es posible producir plantas de *P. greggii* de calidad con sustratos a base de aserrín, fertilizados y micorrizados.

PALABRAS CLAVE: ectomicorriza, índice de calidad Dickson, pino, reforestación, supervivencia de plántulas.

ABSTRACT

In Mexico, the deforested area is high and the percentages of plant survival in reforestation programs are low. One of the key factors to increase plant survival is a good seedling quality. For the plant production in forest nurseries of Mexico, two groups of substrates are basically used: one mostly with soil (in traditional nurseries) and other with an important proportion of peat moss (technified nurseries). The first alters the natural areas already disturbed and the second is expensive. This work aims to evaluate the seedling quality of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. produced in different sawdust-based growing media, with fertilization and inoculation with an ectomycorrhizal fungus. The plants were grown in a greenhouse and evaluated after 10 months. The seedling quality was evaluated through the use of indicators, and morphological and physiological indices. Also, the physical and chemical properties of the growing media used in the present study were analyzed. In general, the seedlings were graded as medium to high quality. The treatments that obtained good grades with the highest number of quality indicators corresponded mostly to those inoculated. The best treatment corresponded to one with 80% sawdust and 20% pine bark growing media, with 8 g of controlled-release fertilizer and 75 ppm of nitrogen. It is possible to produce quality *Pinus greggii* seedlings with growing media based on sawdust, fertilized and inoculated with mycorrhizae fungus.

KEYWORDS: ectomycorrhiza, Dickson quality index, pine, reforestation, survival of seedlings.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, dados los problemas de deforestación y la falta de abastecimiento del mercado maderero en México, la Comisión Nacional Forestal (Conafor) impulsa el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y de restauración mediante el Programa Nacional Forestal (Pronafor). Se estima que en México se deforestaron en promedio unas 500 000 ha año⁻¹ en el periodo de 1993 a 2007 (Rosete-Vergés *et al.*, 2014), y en 2010 se estimó una superficie deforestada de aproximadamente 440 600 ha (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2015). Mientras que la superficie reforestada en 2016 fue de 137 601 ha (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2017).

El informe final del monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2014, para los rubros sobre restauración, mantenimiento y sistemas agroforestales, señaló que en general el nivel de supervivencia de las plantaciones establecidas en 2014 fue de 56.6% (Conafor, 2016), valor que puede considerarse relativamente bajo. Dados los bajos porcentajes de supervivencia en plantaciones cobra importancia el término de calidad de planta o planta de calidad, puesto que contar con esta última podría aumentar los porcentajes de supervivencia. La planta de calidad es aquella que además de cumplir con ciertas características morfológicas también es capaz de alcanzar niveles definidos de supervivencia, crecimiento y desarrollo en el sitio de plantación (se aclimata), debido a que posee ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que se lo permiten (Duryea, 1985; Rodríguez-Trejo, 2008).

Algunos aspectos relevantes para tener planta de calidad en vivero son: los sustratos empleados, la fertilización y la micorrización. Cabe mencionar que, en cuanto a los sustratos, aproximadamente en 60% de viveros tecnificados en México utilizan la turba de musgo como componente principal del sustrato (Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad y Ordaz-Chaparro, 2015), el cual llega a tener un precio aproximadamente 9 veces más alto que el aserrín de pino.

Lo anterior ha motivado la investigación sobre sustratos alternativos, como el aserrín de pino. Se ha encontrado que las características de sustratos compuestos por aserrín y corteza de pino cumplen con los estándares para producir planta en contenedor (Sánchez-Córdova, Aldrete, Cetina-Alcalá y López-Upton, 2008). En sustratos a base de aserrín y corteza de pino se han obtenido plantas de calidad de *Pinus montezumae* Lamb y *P. pseudostrobus* Lindl. (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015; Aguilera-Rodríguez, Aldrete, Martínez-Trinidad y Ordaz-Chaparro, 2016).

Otro aspecto importante para garantizar la calidad de planta, y sobre todo en sustratos como el aserrín, es la fertilización. En el presente estudio se utilizó la fertilización de liberación lenta o controlada (FCL), la cual es una alternativa novedosa y técnicamente avanzada para suministrar nutrientes minerales a los cultivos de vivero (Landis y Dumroese, 2009). En otros estudios en los que utilizan sustratos alternativos como son el aserrín y la corteza de pino, aplicaron también FLC y han obtenido planta de calidad de *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* (Aguilera-Rodríguez *et al.* 2015; Aguilera-Rodríguez *et al.* 2016).

La micorrización en vivero es de suma importancia debido al efecto benéfico ampliamente conocido que proporciona a los árboles en: crecimiento, concentración de nutrientes, protección contra patógenos y supervivencia en campo (Barroetaveña, Bassani, Monges y Rajchenberg, 2016; Carrasco-Hernández *et al.*, 2011; Carrera-Nieva y López-Ríos, 2004; Duñabeitia *et al.*, 2004; Gómez-Romero, Villegas, Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2013; Méndez-Neri, Pérez-Moreno, Quintero-Lizaola, Hernández-Acosta y Lara-Herrera 2011; Nakashima, Eguchi, Uesugi, Yamashita y Matsuda, 2016). La inoculación de plantas con hongos ectomicorrícicos en vivero es la mejor oportunidad para introducir estos organismos benéficos previamente seleccionados (Wilkinson, 2009). Debido a lo anterior, en el presente trabajo se inocularon los pinos con *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke 1884, un hongo silvestre ectomicorrícico comestible que se encuentra en gran abundancia en el centro de México.



OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo fueron: (1) evaluar la calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. producidos en sustratos a base de aserrín, fertilizados e inoculados con el hongo ectomicorrícico *Laccaria laccata*, mediante el uso de indicadores e índices morfológicos y fisiológicos; (2) estudiar las características físicas y químicas de las mezclas de sustrato, verificar su condición de calidad según los estándares generales para producir plantas en contenedor y (3) evaluar el porcentaje de colonización ectomicorrícica en los diferentes tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en México, específicamente en el municipio de Texcoco, Estado de México, en un vivero con las coordenadas 19° 29' 24" N y 98° 52' 15" O, a una altitud de 2280 m snm y en un clima templado subhúmedo. Los sustratos que se elaboraron tuvieron como base el aserrín de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham y, en menor proporción, otros productos (Tabla 1). Una vez preparados los sustratos se esterilizaron a 85 °C durante 36 h.

Se analizaron las siguientes propiedades físicas de los sustratos: diámetro medio ponderado de partículas (*DMP*), densidad aparente (*Da*), porosidad de retención de agua (*PRH*), porosidad de aireación (*PA*) y porosidad total (*PT*); estas tres últimas por el procedimiento descrito por Landis (1990). También se evaluaron las propiedades químicas: *pH*, conductividad eléctrica (*CE*) y capacidad de intercambio catiónico (*CIC*). Además de lo anterior, se

obtuvieron los valores de la curva de liberación de agua por el método del embudo (De Boodt, Verdonck y Cappaert, 1974). Los componentes de la curva fueron los siguientes: espacio poroso total (*EPT*); capacidad de aireación (*CA*); agua fácilmente disponible (*AFD*); agua de retención (*AR*); agua difícilmente disponible (*ADD*) y el agua total disponible (*ATD*).

Se evaluó la calidad de la planta en cinco diferentes sustratos; cada uno a dos diferentes dosis de fertilización de liberación lenta (6 g L⁻¹ y 8 g L⁻¹ de Osmocote Plus (15-9-12)) y a dos niveles de inoculación (0 g y 3 g *L. laccata*). En total se tuvieron 20 tratamientos con 27 plantas cada uno (Tabla 2).

Las semillas de *P. greggii* se remojaron 24 h como tratamiento pregerminativo y, posteriormente, se desinfectaron con peróxido de hidrogeno (H₂O₂) a 30%, durante 20 min. Los tubetes que se utilizaron fueron de polietileno negro (54 tubetes por charola), con capacidad de 350 ml, los cuales también se desinfectaron con alcohol a 75% y posteriormente se llenaron con el sustrato correspondiente a cada tratamiento. En cada tubete se realizó la siembra directa a una profundidad de 1 cm. Las semillas germinaron a partir de los 20 días e inmediatamente se aplicó Captán (2.5 g L⁻¹) cada tercer día, durante una semana y media. Lo anterior con la finalidad de prevenir el “mal de los almácigos”, que es un complejo de hongos fitopatógenos compuesto de: *Phytophthora* spp., *Phythium* spp. y *Fusarium* spp., entre otros.

TABLA 1. Sustratos a base de aserrín utilizados en el presente trabajo.

Sustrato	Aserrín	Corteza	Turba de musgo	Composta	Perlita	Vermiculita
	%	%	%	%	%	%
1	80	20				
2	80		20			
3	80			20		
4	60	10	10		10	10
5	60	10		10	10	10

TABLA 2. Tratamientos establecidos para la evaluación de la calidad de *P. greggii* Engelm. Ex Parl.

Tratamiento	Sustrato	Fertilización (g L ⁻¹)	Inoculación (g)
1		8	3
2	1	8	0
3		6	3
4		6	0
5		8	3
6	2	8	0
7		6	3
8		6	0
9		8	3
10	3	8	0
11		6	3
12		6	0
13		8	3
14	4	8	0
15		6	3
16		6	0
17		8	3
18	5	8	0
19		6	3
20		6	0

La preparación del inóculo ectomicorrícico en polvo y su aplicación se realizó conforme a la metodología seguida por Carrasco-Hernández *et al.* (2018). En el presente trabajo se aplicaron dos inoculaciones de 1.5 g del hongo ectomicorrícico comestible silvestre *L. laccata* por planta. La primera inoculación se realizó dos meses después de que la planta emergió y la segunda inoculación a los cuatro meses. Después de cada inoculación se realizaron tres aplicaciones de Cercobin® cada 15 días (1 g L⁻¹), con el objetivo de prevenir el “mal de los almacigos”, debido a la posible presencia de fitopatógenos que podría tener el inóculo. Las plantas permanecieron en vivero 10 meses hasta su evaluación.

Puesto que las plantas presentaron un color de follaje amarillento, a los 5 meses se realizaron tres aplicaciones del fertilizante soluble 20-20-20 (N-P₂O₅-K₂O), para la etapa de crecimiento rápido; el cual se diluyó en el agua de riego (0.375 g L⁻¹), para obtener una concentración de 75 ppm de N. Posteriormente el color del follaje mejoró. Las plantas permanecieron en vivero 10 meses hasta su evaluación.

Los indicadores morfológicos evaluados fueron: diámetro del cuello del tallo (*Dc*, mm); altura (*h*, cm); peso anhidro total (*p*, g); peso anhidro de la parte aérea (*pa*, g) y peso anhidro de la parte subterránea (*ps*, g). Los índices morfológicos evaluados fueron: relación de la biomasa aérea entre biomasa subterránea (*pa/ps*), índice de esbeltez (*Ie*) (Duryea, 1985) y el *QI*, que es el índice de calidad de Dickson (Dickson, Leaf y Hosner, 1960a, Dickson, Leaf y Hosner 1960b).

También se realizaron dos pruebas relacionadas con los atributos fisiológicos. La primera prueba fue la de pérdida de electrolitos de la raíz (*PER*), con base en la metodología descrita por Ritchie *et al.* (2010) con algunas modificaciones. La segunda, la evaluación de tres nutrientes: *N*, *P* y *K*. La concentración de *N* se determinó conforme la metodología seguida por Alcántar y Sandoval (1999), mediante el método Kjeldahl. Las concentraciones de *P* y *K* se determinaron usando un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES Agilent 725, Australia). El



porcentaje de colonización de la raíz se realizó mediante la metodología seguida por Carrasco-Hernández (2010).

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, con arreglo factorial $5 \times 2 \times 2$. Los tres factores considerados en el arreglo factorial son: el sustrato (5 niveles), la inoculación (2 niveles) y la fertilización (2 niveles). El modelo estadístico fue:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\gamma\beta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} = variable respuesta

μ = media general

τ_i = efecto de i-ésimo nivel del factor sustrato

β_j = efecto del j-ésimo nivel del factor fertilización

γ_k = efecto del k-ésimo nivel del factor inoculación

ε = error experimental

la combinación de letras representa las interacciones

Los valores de respuesta de la evaluación de las plántulas se sometieron a un análisis de varianza para determinar la significancia de los efectos principales e interacciones de los factores y a una comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Lo anterior se realizó con el programa Statistical Analysis System (SAS®), mediante los procedimientos ANOVA y GLM, respectivamente.

RESULTADOS

Características físicas de los sustratos

De las propiedades físicas del sustrato evaluadas (Tabla 3), solo se encontraron diferencias significativas para la densidad aparente (D_a) y la porosidad de aireación (PA). En dichas variables el sustrato 3, compuesto por 80% de aserrín y 20% de corteza, fue el que presentó los valores más altos. Cabe señalar que el sustrato 1 no mostró diferencias significativas con el sustrato 3 en la PA.

TABLA 3. Propiedades físicas de los sustratos utilizados (Densidades aparentes, diámetros medios ponderados, porosidades de aireación, de retención de humedad y total).

Sustratos	D_a ($g\ cm^{-3}$)	DMP (mm)	PA (%)	PRH (%)	PT (%)
1	0.202 c	1.15	27.542 a	51.600	79.142
2	0.168 e	0.68	22.688 b	54.856	77.544
3	0.302 a	0.90	27.828 a	48.684	76.512
4	0.186 d	1.12	23.944 b	53.086	77.030
5	0.270 b	0.99	23.258 b	51.658	74.916
Valores óptimos	< 0.75	0.25 - 2.5	20-35	-----	60-80

Valores con diferentes letras en la misma columna presentaron diferencias significativas entre sí ($p \leq 0.05$) y valores sin letra en la misma columna no fueron significativamente diferentes entre sí con la prueba de Tukey. Fuente de valores óptimos: D_a y DMP (Martínez y Roca, 2011), PA (Havis y Hamilton, 1976) y PT (Landis, 1990).

En la tabla 4 se muestran los valores obtenidos de la curva de liberación de agua, así como los intervalos óptimos señalados por Baixauli y Aguilar (2002), Martínez y Roca (2011) y Pastor (2000). El sustrato 3 presentó un valor de agua fácilmente disponible (AFD) para la planta dentro del óptimo sugerido, que como su nombre indica representa el porcentaje de agua que las raíces de la planta pueden absorber fácilmente. También los sustratos 3 y 4 presentaron valores de agua total disponible (ATD) adecuados, pero se puede observar que esto se debe al agua de retención (AR) que en parte puede ser absorbida por la planta, pero que a la vez puede representar un inconveniente en el caso de propagarse una enfermedad fungosa, como es el caso del “mal de los almárgos”.

TABLA 4. Componentes de la curva de liberación de agua de los sustratos empleados en la producción de plantas de *P. greggii*.

Sustratos	EPT (%)	CA (%)	AFD (%)	AR (%)	ADD (%)	ATD (%)
1	83.5	23.6	8.7	9.3	41.9	18.0
2	83.3	18.2	12.2	11.8	41.2	23.9
3	77.6	8.6	20.0	16.6	32.4	36.6
4	79.7	11.5	18.0	15.2	35.0	33.1
5	76.7	27.2	7.8	11.4	30.3	19.2
Valores óptimos		10 - 30	20 - 30	4 - 10	----	24 - 80

Características químicas de los sustratos

Los valores de las características químicas del sustrato y sus intervalos óptimos sugeridos por Bunt (1988), Landis (1990) y Martínez y Roca (2011), se presentan en la tabla 5. El pH de los sustratos utilizados en el presente trabajo fue ácido en su mayoría (sustratos 1, 2 y 4). El pH de los sustratos 3 y 5 fue básico; estaban compuestos por composta de vaca en 20% y 10%, respectivamente. Sin embargo, no se tuvo alguna dificultad para el desarrollo de la planta en estos sustratos.

En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), los sustratos con los valores más altos fueron el 3 y 5, ambos tenían cierto porcentaje de composta. Cabe señalar que ningún valor fue mayor a 0.75 dS m⁻¹, límite inferior del intervalo a partir del cual se afectaría adversamente a las plantas (Bunt, 1988).

Los valores de capacidad de intercambio catiónico (CIC) se encontraron en un intervalo de 13 meq 100 g⁻¹ a 26 meq 100 g⁻¹. El sustrato 4 estuvo dentro del intervalo óptimo de pH, el cual es óptimo para producir plantas en contenedor (Tabla 5).

TABLA 5. Características químicas (potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico) de los sustratos empleados.

Sustrato	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (meq 100 g ⁻¹)
1	4.810	0.120	17.12
2	4.820	0.160	20.64
3	9.280	0.430	13.60
4	5.240	0.220	26.72
5	8.760	0.440	18.14
Valores óptimos	5.0 – 6.5	0.75 – 3.5	> 20

Evaluación de calidad de planta en vivero

Los valores de diámetro del cuello promedio en los diferentes tratamientos se encuentran dentro de un intervalo de 4 mm a 6 mm. Las alturas de las plantas producidas en este estudio fueron mayores a 30 cm por lo que tendrían que ser llevadas a sitios que no sufran de escasez de agua o sin presencia de vientos desecantes, esto porque al ser más altas perderían más humedad por

transpiración y tendrían mayor probabilidad de que el tallo se rompiera, lo cual impactaría en una menor supervivencia de plantas aun y cuando estas poseen diversas características morfológicas de calidad media y alta.

Los valores de índice de esbeltez promedio de los tratamientos fueron elevados, entre 7 y 12, lo que indica que las plantas fueron muy esbeltas (Tabla 6). El peso seco de la parte aérea promedio para los diferentes tratamientos fue superior a 3.5 g, indicativo de que las plantas produjeron una buena cantidad de biomasa fotosintética (Tabla 6).

Los tratamientos 10, 19 y 20 fueron los que presentaron los mayores valores en cuanto a peso seco subterráneo y el 7 con el menor valor, aunque en términos generales todos los tratamientos produjeron una buena biomasa radical. Cabe señalar que el peso seco subterráneo o de la raíz fue menor al del peso seco de la parte aérea. En cuanto al peso seco total, el mayor valor se observa en el tratamiento 6 aunque este no mostró diferencias estadísticas significativas con respecto a los tratamientos 5, 10 y 14. Los tratamientos con menor valor en peso seco subterráneo fueron los tratamientos 7, 15 y 16, si bien, en términos generales, los tratamientos produjeron una buena biomasa total (Tabla 7).

La relación *pa/ps* promedio tuvo valores dentro de un intervalo de 2 a 4, lo cual indica que se produjo de dos a casi cuatro veces más biomasa aérea que subterránea. El índice de calidad de Dickson, que integra los indicadores morfológicos evaluados presentó su menor valor (0.4) en los tratamientos 7, 8, 11, 12, 15 y 16, mientras que su mayor valor (0.8) se presentó en el tratamiento 19, seguido de los tratamientos 20 y 13.

La comparación de medias mostró diferencias significativas en tratamientos de igual sustrato en las variables diámetro del cuello (*Dc*), peso seco de la parte aérea (*pa*), peso seco de la parte subterránea (*ps*), peso seco total (*p*) e índice de calidad de Dickson (*QI*). En general los tratamientos fertilizados y con el mismo sustrato tuvieron diferencias significativas en al menos una de las variables mencionadas anteriormente.



TABLA 6. Comparación de medias entre tratamientos para diámetro (Dc), altura (h), índice de esbeltez (Ie) y peso seco de la parte aérea (pa) de plantas de *P. greggii*.

Tratamiento	Dc (mm)	h (cm)	Ie	pa (g)
1	4.9 ± 0.4 defg	39.8 ± 3.5 g	8.1 ± 0.6 efg	4.6 ± 0.7 cdef
2	4.8 ± 0.6 efg	40.1 ± 6.4 fg	8.3 ± 1.2 defg	4.3 ± 1.3 ef
3	5.1 ± 0.8 bcdef	45.9 ± 5.1 bcdefg	9.2 ± 1.6 cdef	4.2 ± 1.3 ef
4	5.0 ± 0.6 cdefg	44.2 ± 5.9 cdefg	8.9 ± 0.9 cdefg	4.5 ± 1.1 def
5	5.8 ± 0.8 ab	52.7 ± 6.0 ab	9.3 ± 1.5 cdef	6.0 ± 1.4 ab
6	5.6 ± 0.5 abcd	54.4 ± 8.6 a	9.8 ± 1.5 bcd	6.4 ± 1.3 a
7	4.5 ± 0.5 fg	48.6 ± 5.8 abcde	11.0 ± 1.7 ab	4.0 ± 0.8 ef
8	4.3 ± 0.5 g	49.8 ± 6.0 abcd	11.7 ± 1.8 a	4.2 ± 1.1 ef
9	5.1 ± 0.9 abcdef	46.7 ± 5.4 bcdefg	9.3 ± 1.3 bcdef	4.6 ± 1.5 bcdef
10	5.5 ± 0.6 abcde	51.4 ± 6.0 ab	9.4 ± 1.1 bcdef	5.9 ± 1.6 abcd
11	4.9 ± 0.6 defg	50.6 ± 6.1 abcd	10.4 ± 1.6 abc	4.5 ± 1.2 def
12	4.8 ± 0.3 efg	48.6 ± 7.1 abcde	10.1 ± 1.5 abc	4.4 ± 0.8 ef
13	5.8 ± 0.8 ab	49.6 ± 7.9 abcd	8.8 ± 1.7 cdefg	6.0 ± 1.7 abc
14	5.7 ± 0.6 abc	51.2 ± 6.5 abc	9.1 ± 1.5 cdef	6.0 ± 1.2 abc
15	4.7 ± 0.5 fg	43.6 ± 4.4 defg	9.3 ± 1.3 bcdef	3.8 ± 0.9 f
16	4.7 ± 0.6 fg	47.7 ± 6.2 abcde	10.4 ± 1.8 abc	3.8 ± 1.0 ef
17	5.2 ± 0.6 abcdef	47.0 ± 5.3 bcdef	9.1 ± 1.0 cdef	4.8 ± 2.2 bcdef
18	5.2 ± 0.7 abcdef	50.0 ± 4.8 abcd	9.8 ± 1.1 bcde	4.7 ± 1.1 bcdef
19	5.8 ± 0.7 a	41.6 ± 6.6 efg	7.3 ± 1.5 g	5.3 ± 1.0 abcde
20	5.5 ± 0.5 abcde	41.7 ± 5.4 efg	7.7 ± 1.3 fg	4.9 ± 0.9 abcdef

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí con la prueba de Tukey.

TABLA 7. Comparación de medias entre tratamientos para peso seco subterráneo (ps), peso seco total (p), relación peso seco parte aérea: peso seco raíz (pa/ps) e índice de Dickson (QI), de plantas de *P. greggii*.

Tratamientos	ps (g)	p (g)	pa/ps	QI
1	1.6 ± 0.3 abcdefg	6.2 ± 0.9 bcdef	2.8 ± 0.6 cdefg	0.6 ± 0.1 bcde
2	1.7 ± 0.4 abcdef	6.0 ± 1.5 cdef	2.6 ± 0.7 fg	0.6 ± 0.2 bcde
3	1.3 ± 0.4 defghi	5.5 ± 1.6 def	3.4 ± 0.6 abcdef	0.5 ± 0.2 defg
4	1.7 ± 0.3 abcde	6.2 ± 1.2 bcdef	2.6 ± 0.6 efg	0.5 ± 0.1 bcdef
5	1.7 ± 0.5 abcdef	7.7 ± 1.7 ab	3.6 ± 0.7 abc	0.6 ± 0.2 abcd
6	1.9 ± 0.4 ab	8.2 ± 1.5 a	3.5 ± 0.7 abcde	0.6 ± 0.1 abcd
7	1.1 ± 0.3 i	5.1 ± 1.0 f	3.9 ± 1.3 ab	0.4 ± 0.1 g
8	1.3 ± 0.4 efghi	5.4 ± 1.3 ef	3.4 ± 0.8 abcdef	0.4 ± 0.1 fg
9	1.6 ± 0.5 bcdefgh	6.2 ± 1.9 bcdef	3.0 ± 0.7 bcdefg	0.5 ± 0.2 cdefg
10	2.0 ± 0.4 ab	7.8 ± 2.0 ab	3.0 ± 0.4 cdefg	0.6 ± 0.2 abcd
11	1.2 ± 0.2 hi	5.6 ± 1.3 def	3.9 ± 1.0 a	0.4 ± 0.1 efg
12	1.4 ± 0.2 cdefghi	5.7 ± 0.9 def	3.2 ± 0.6 abcdefg	0.4 ± 0.1 efg
13	1.7 ± 0.5 abcd	7.7 ± 2.2 abc	3.5 ± 0.6 abcd	0.7 ± 0.2 abc
14	1.8 ± 0.4 abc	7.8 ± 1.3 ab	3.4 ± 0.8 abcdef	0.6 ± 0.1 abcd
15	1.2 ± 0.4 ghi	5.0 ± 1.2 f	3.2 ± 0.5 abcdefg	0.4 ± 0.1 efg
16	1.3 ± 0.3 fghi	5.1 ± 1.3 f	3.1 ± 0.6 abcdefg	0.4 ± 0.1 efg
17	1.3 ± 0.4 defghi	6.1 ± 2.4 bcdef	3.7 ± 1.1 abc	0.5 ± 0.2 cdefg
18	1.4 ± 0.3 cdefghi	6.1 ± 1.3 bcdef	3.5 ± 0.6 abcde	0.5 ± 0.1 defg
19	2.0 ± 0.4 a	7.3 ± 1.2 abcd	2.7 ± 0.7 defg	0.8 ± 0.2 a
20	2.0 ± 0.4 ab	6.9 ± 1.3 abcde	2.5 ± 0.3 g	0.7 ± 0.2 ab

Valores con diferentes las letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí con la prueba de Tukey.

La concentración foliar de N , en tratamientos de igual sustrato, solo registró diferencias significativas entre los tratamientos 18 y 20. Las diferencias significativas en la concentración foliar de K en los tratamientos de igual sustrato se observa entre los tratamientos 5 y 6, los cuales fueron fertilizados con 8 g L^{-1} , siendo su única diferencia con respecto al tratamiento 5, que fue inoculado. El tratamiento 6 tuvo un mayor valor respecto al tratamiento 5. Además, el tratamiento 4 tuvo diferencias con los tratamientos 1 y 2, y el tratamiento 3 con respecto al tratamiento 2; los tratamientos 3 y 4 tuvieron mayores concentraciones foliares de K y fueron fertilizados con dosis de 6 g L^{-1} . Las concentraciones foliares de N y K fueron menores a 2% y para P fueron menores a 1%.

El porcentaje promedio de pérdida de electrolitos de la raíz estuvo dentro del intervalo 30% a 65%. La pérdida de electrolitos de la raíz (PER) mostró diferencias significativas en tratamientos de igual sustrato para los tratamientos 1 y 2, con respecto al tratamiento 4, siendo el tratamiento 4 el que tuvo el mayor valor y con dosis de fertilización de 6 g L^{-1} .

El porcentaje promedio de colonización (PC) registró valores entre 14% y 64%. Los tratamientos con el mismo sustrato que fueron significativamente diferentes son: tratamiento 3 respecto del 4 (sustrato 1), entre el tratamiento 9 y el 12 (sustrato 3), tratamiento 14 respecto del 15 (sustrato 4), y los tratamientos 17 y 19 con respecto al 18 (sustrato 5). Cabe señalar que los porcentajes más altos de colonización micorrízica se presentaron en los tratamientos inoculados (Tabla 8).

La evaluación de planta consideró el efecto de tres factores, los cuales pueden o no interactuar y afectar el valor de las variables evaluadas. Los factores que tienen interacción significativa, resultado del análisis de varianza, indican que el efecto del primer factor sobre una variable respuesta varía a diferentes niveles de un segundo factor.

Los sustratos, la fertilización y su interacción tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) sobre Dc y la altura (h).

Cuando se fertilizó con dosis de 8 g L^{-1} , en los sustratos 2 y 4 se obtuvieron valores mayores con respecto a la fertilización con 6 g L^{-1} , para el caso de Dc . También ocurre lo anterior en el sustrato 3 y para h en el sustrato 5. Las variables Ie , ps , pa , p , QI y pérdida de electrolitos de la raíz (PER) mostraron efectos significativos para el sustrato, la fertilización y la interacción entre ambas, y para Ie y ps en la inoculación. En la mayoría de los sustratos, los valores fueron más altos cuando se fertilizó con dosis de 6 g L^{-1} que cuando se fertilizó con 8 g L^{-1} , excepto en el sustrato 5 donde ocurre lo contrario.

El efecto de los factores en la relación pa/ps y la concentración foliar de N fue significativa para el sustrato, la inoculación y la interacción entre el sustrato y la fertilización ($p < 0.05$). Se presentaron menores valores de pa/ps cuando se fertilizó con dosis de 8 g L^{-1} , con respecto a la fertilización con 6 g L^{-1} en tres sustratos, excepto en los sustratos 4 y 5, donde ocurre lo contrario. Las concentraciones foliares de N fueron mayores con la dosis de fertilización de 6 g L^{-1} , respecto a la dosis de 8 g L^{-1} en tres sustratos, excepto en los sustratos 1 y 5. El efecto de la inoculación en el índice de esbeltez y el peso seco de la parte subterránea, mostró que las plantas inoculadas presentaron valores menores con respecto a las no inoculadas. En cuanto a la relación pa/ps y a la concentración foliar de N , los valores más altos se presentan en plantas inoculadas.

El sustrato, la fertilización, las interacciones entre estos dos factores, entre el sustrato y la inoculación, y entre la fertilización y la inoculación, tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la concentración foliar de K , encontrándose que: (1) se tuvieron concentraciones mayores cuando se aplicó la dosis de fertilización de 6 g L^{-1} con respecto a la dosis de 8 g L^{-1} en los sustratos 1 y 4; (2) las concentraciones fueron más altas en los sustratos 1, 3 y 4 cuando las plantas fueron inoculadas; (3) las plantas presentaron concentraciones más altas al ser fertilizadas con la dosis de 6 g L^{-1} e inoculadas.



TABLA 8. Comparación de medias entre tratamientos para el análisis nutrimental foliar, pérdida de electrolitos de la raíz (*PER*) y porcentaje de colonización ectomicorrícica (*PC*), de plantas de *P. greggii*

Tratamiento	<i>N</i> (%)	<i>P</i> (%)	<i>K</i> (%)	<i>PER</i> (%)	<i>PC</i> (%)
1	1.1 ± 0.1 ab	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.1 cdef	36.1 ± 3.4 cd	60.6 ± 8.1 a
2	0.9 ± 0.2 abc	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.1 defg	34.8 ± 7.5 d	40.3 ± 10.6 abcdef
3	0.9 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0 abc	56.6 ± 20.2 abcd	63.0 ± 6.0 a
4	0.8 ± 0.0 abc	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1 ab	66.4 ± 14.9 a	23.8 ± 5.6 cdef
5	1.0 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	1.1 ± 0.0 bcde	44.8 ± 14.0 abcd	55.0 ± 3.5 abcd
6	1.0 ± 0.2 abc	0.2 ± 0.0	1.3 ± 0.1 a	38.4 ± 9.2 bcd	26.3 ± 7.2 bcdef
7	1.0 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	0.9 ± 0.1 defg	45.3 ± 8.0 abcd	43.6 ± 21.0 abcdef
8	1.0 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	0.9 ± 0.1 efg	38.0 ± 3.5 bcd	24.6 ± 10.7 cdef
9	0.8 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.1 bcde	60.6 ± 22.4 ab	60.2 ± 7.9 ab
10	0.7 ± 0.1 bc	0.2 ± 0.0	0.9 ± 0.1 defg	55.2 ± 20.3 abcd	29.5 ± 5.1 abcdef
11	1.0 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	0.9 ± 0.0 defg	64.4 ± 16.8 a	47.8 ± 16.9 abcdef
12	0.8 ± 0.2 abc	0.1 ± 0.0	0.8 ± 0.1 fg	59.5 ± 17.3 abc	21.6 ± 16.1 def
13	0.8 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	0.9 ± 0.0 efg	40.2 ± 7.6 bcd	45.9 ± 19.8 abcdef
14	0.8 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	0.8 ± 0.1 g	47.1 ± 15.0 abcd	14.2 ± 6.0 f
15	1.1 ± 0.2 ab	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.0 defg	45.4 ± 9.6 abcd	49.8 ± 3.0 abcde
16	0.8 ± 0.2 abc	0.2 ± 0.0	0.8 ± 0.1 fg	44.3 ± 6.6 abcd	36.6 ± 14.2 abcdef
17	1.0 ± 0.2 abc	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.0 cdefg	53.4 ± 18.0 abcd	57.6 ± 1.4 abc
18	1.2 ± 0.2 a	0.2 ± 0.0	1.1 ± 0.0 abcd	48.1 ± 7.7 abcd	20.7 ± 9.2 ef
19	0.8 ± 0.1 abc	0.2 ± 0.0	1.0 ± 0.1 defg	42.7 ± 7.3 abcd	54.8 ± 9.2 abcde
20	0.6 ± 0.1 c	0.1 ± 0.0	0.9 ± 0.0 efg	44.7 ± 11.3 abcd	31.6 ± 11.5 abcdef

Valores con diferentes letras en la misma columna tuvieron diferencias significativas entre sí con la prueba de Tukey.

DISCUSIÓN

Características físicas de los sustratos

Todos los sustratos se encuentran dentro de los intervalos óptimos en cinco características físicas de un total de ocho (Tablas 3 y 4). Con base en sus características físicas, se considera que los sustratos 2 y 4 son ideales para producir plantas en contenedor, dado que cumplen con el mayor número de características analizadas.

La densidad aparente (*Da*) presentó valores dentro del intervalo óptimo sugerido por Martínez y Roca (2011) en todos los sustratos. Cabe mencionar que los sustratos evaluados muestran valores de diámetro medio ponderado (DMP), porosidad de aireación (*PA*) y porosidad total (*PT*) dentro del intervalo óptimo recomendado (Tabla 3).

En otros estudios en los que utilizaron sustratos a base de aserrín y corteza de pino se han registrado valores inferiores o superiores a los encontrados en el presente

estudio en cuanto a porosidad de aireación, porosidad de retención de humedad y porosidad total (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015; 2016; Hernández-Zárate, Aldrete, Ordaz-Chaparro, López-Upton y López-López, 2014; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008). Sin embargo, en sustratos con menos de 20% de corteza se han registrado valores de densidad aparente similares a los del presente estudio (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015; 2016; Hernández-Zárate *et al.*, 2014). Cabe señalar que la porosidad de aireación aumenta conforme incrementa el tamaño de las partículas (Landis, 1990), sin embargo, no se observa esta tendencia en los sustratos evaluados, posiblemente por el bajo intervalo en el diámetro promedio ponderado en los sustratos estudiados.

La variación de los valores de densidad aparente y las porosidades de este estudio, con respecto a otros trabajos mencionados, puede deberse principalmente al tamaño del tubete, puesto que en el presente estudio el contenedor fue de mayor volumen. Otros factores que podrían influir son:

la forma de llenado del tubete (nivel de compactación), la preparación de los sustratos y la proporción de cada componente empleado para elaborar el sustrato.

La porosidad de retención de humedad (*PRH*) es el espacio poroso que se mantiene lleno de agua luego de que al medio saturado con agua se drena (Landis, 1990). El aserrín de pino fue el principal componente entre los sustratos utilizados, es orgánico, está compuesto por pequeñas partículas de fibras de madera que al entrar en contacto con el agua la absorben hasta saturarse, retienen el agua dentro de ellas; se puede considerar que la *PRH* está sobrestimada, dado que no se descartó la humedad que se retiene dentro de las partículas de aserrín (incluso dentro de las de corteza o las de turba de musgo). Sin embargo, se debe tener presente que el agua retenida por el aserrín está disponible para la planta, aunque no está alojada entre partículas, sino dentro de una clase de partículas.

En cuanto a los componentes de la curva de liberación de agua: (1) el sustrato 3 fue el único con valor de capacidad de aireación (*CA*) y agua fácilmente disponible (*AFD*) menor y dentro del intervalo óptimo, respectivamente; (2) el sustrato 1 tuvo el único valor de agua de retención (*AR*) en el intervalo óptimo; (3) los sustratos 3 y 4 tuvieron valores de agua totalmente disponible (*ATD*) en el intervalo óptimo, sin embargo, el sustrato 2 presenta un valor (23.9%) muy cercano a 24% (Tabla 4).

Los estudios realizados por Hernández-Zárate *et al.* (2014) y Sánchez-Córdova *et al.* (2008), registraron valores, en general, similares de *CA* e inferiores en *AR*, con respecto a los del presente estudio. Los primeros autores mencionados registraron valores mayormente similares y los segundos valores superiores para *AFD*. En un sustrato similar al sustrato 1, se registró un valor superior de *CA* (Sánchez-Córdova *et al.*, 2008).

Características químicas de los sustratos

Los sustratos 2 y 4, que incluyeron turba de musgo entre sus componentes (20 y 10%, respectivamente), presentaron valores de capacidad de intercambio catiónico (*CIC*) y *pH*

dentro del intervalo óptimo. Ningún sustrato tuvo valores de conductividad eléctrica (*CE*) en el intervalo óptimo (Tabla 5).

Los sustratos 1, 2 y 4 tuvieron valores de *pH* que concuerdan con los encontrados en turba de musgo y corteza de pino (Mañas, Castro, Vila, P. y de las Heras, 2010), así como en sustratos cuyos compuestos principales fueron el aserrín y la corteza de pino (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015, 2016; Hernández-Zárate *et al.*, 2014; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008). Cabe señalar que la mayoría de las mezclas presentaron *pH* ácido. Sin embargo, los sustratos 3 y 5, que tuvieron composta de vaca entre sus componentes, mostraron valores de *pH* básico, mayores de 8, pero no se tuvo efecto detrimental alguno en las plantas producidas en tales sustratos.

Los valores de *CE* y *CIC* encontrados en este estudio difieren al ser menores o mayores de los obtenidos por otras investigaciones en sustratos que usaron aserrín y corteza de pino (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015, 2016; Hernández-Zárate *et al.*, 2014; Sánchez-Córdova *et al.*, 2008), mientras que tienden a ser similares a los hallados en turba de musgo y corteza de pino (Mañas *et al.*, 2010).

Evaluación de calidad de planta a nivel de vivero

Los intervalos óptimos para calificar la calidad de planta en vivero de coníferas no cespitosas de clima templado, señalados por Muñoz-Flores *et al.* (2015) y Rueda-Sánchez *et al.* (2012), no verificados en campo, se muestran en la tabla 9, los cuales se emplearon para calificar los indicadores e índices evaluados en los diferentes tratamientos.

Se calificaron como calidad media y alta el diámetro del cuello, el índice de calidad de Dickson, y las concentraciones foliares de *P* y *K* en todos los tratamientos. La calidad calificó como media para: el índice de esbeltez en los tratamientos 19 y 20, la relación *pa/ps* en el tratamiento 20, y la concentración foliar de *N* en los tratamientos 1, 6, 7, 8, 15, 17 y 18. Para el resto de tratamientos, en cuanto a *Ie*, *pa/ps* y la concentración foliar de *N*, la calidad calificó como baja.



TABLA 9. Intervalos de calidad para los atributos morfológicos y fisiológicos evaluados.

Variable	Calidad		
	Baja	Media	Alta
<i>h</i> (cm)	< 10.0	10.0 - 14.9	15.0 - 25.0
<i>Dc</i> (mm)	< 2.5*	2.5 - 3.9	≥ 4.0
<i>le</i>	> 8.0	8.0-6.0	< 6.0
<i>pa/ps</i>	> 2.5	2.5 - 2.0	< 2.0
<i>QI</i>	< 0.2	0.2 - 0.4	≥ 0.5
<i>N</i> (%)	< 1.0	1.0 - 1.2	1.3 - 3.5*
<i>P</i> (%)	≤ 0.1		0.2 - 0.6*
<i>K</i> (%)	< 0.5	0.5 - 0.6	0.7 - 2.5*

Fuentes: Muñoz-Flores *et al.* (2015) y Rueda-Sánchez *et al.* (2012).

La pérdida de electrolitos de la raíz se calificó mediante los siguientes intervalos establecidos para este estudio: de 21% a 40% (alta), de 41% a 60% (media) y de 61% a 80% (baja). Los tratamientos 4, 9 y 11 se califican como calidad baja, los tratamientos 1, 2, 6 y 8 como calidad alta y el resto de los tratamientos como calidad media. La altura tuvo valores superiores al intervalo óptimo en todos los casos.

Las plantas de *P. pseudostrobus* Lindl producidas en contenedor, utilizando aserrín y corteza de pino como componentes principales (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2015), y de *P. ayacabuite* producidas con tierra de monte en bolsas de polietileno (Muñoz-Flores *et al.*, 2015), tuvieron valores similares a la mayoría de los indicadores morfológicos registrados en este estudio, excepto para *h* y *le*, así como *QI* (en la segunda especie), que presentaron valores inferiores o superiores.

Plantas de *P. greggii*, y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw producidas en aserrín y corteza de pino como componentes principales (Maldonado-Benitez, Aldrete, López-Upton, Vaquera-Huerta y Cetina-Alcalá, 2011; Reyes-Reyes *et al.*, 2005), y de *P. radiata* D. Don, producidas en un sustrato de turba de musgo (Ortega *et al.*, 2006), registraron valores que difieren en su mayoría de los obtenidos en este estudio.

La evaluación de atributos morfológicos como *Dc*, *h*, *pa*, *ps* y *p* en plantas de *P. arizonica* var. *cooperi* (C. E. Blanco) Farjon, producidas en turba de musgo, vermiculita y agrolita (Prieto-Ruiz, Domínguez-Calleros, Cornejo-

Oviedo y Návar-Cháidez, 2007) y de *P. arizonica* Engelm. producidas en sustratos que incluyeron aserrín de pino avejentado o turba de musgo o tierra de monte como componente principal (Sigala-Rodríguez, Sosa-Pérez, Martínez-Salvador, Albarrán-Alvarado y Soto-Jacinto, 2012) no registraron diferencias con los valores de *Dc* aquí obtenidos, pero sí para algunos de los otros indicadores. Asimismo, plantas de *P. douglasiana* Martínez producidas en charolas de poliestireno con 60 cavidades de 165 cm³ (Bernaola-Paucar *et al.*, 2015) tuvieron valores similares en *Dc*, *h*, *ps* y *pa*.

Las concentraciones foliares de *N* y *K* determinadas en este estudio difieren de las registradas en *P. ayacabuite* y *P. arizonica* (Muñoz-Flores *et al.*, 2015; Sigala-Rodríguez *et al.*, 2012), las cuales fueron inferiores o superiores, pero no se hallaron diferencias en la concentración foliar de fósforo. Plantas de *P. montezumae* Lamb., producidas en aserrín y corteza (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2016), mostraron valores con diferencias para *K*, pero no para *N* y *P*; mientras que plantas de *P. douglasiana* (Bernaola-Paucar *et al.*, 2015) registraron una menor concentración foliar de nitrógeno en comparación con la obtenida en la presente investigación.

La prueba de la *PER* en México no se ha registrado como prueba de calidad en los artículos revisados sobre especies de coníferas producidas en vivero, pero sí ha sido empleada en los viveros de Estados Unidos. Se han encontrado correlaciones de la *PER* con el contenido de humedad de plantas de *Pinus radiata* D. Don, veinte días después de haber sido plantadas (Mena-Petite *et al.*, 2004) y correlaciones con la supervivencia en plantas de *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en algunos sitios de plantación (McKay y White, 1997).

La *PER* es una prueba relativamente sencilla y debe seguirse investigando, dado que regularmente no se califica la calidad de la parte subterránea de las plantas con pruebas fisiológicas, aunque la raíz es tan importante como el brote. Se considera que puede ser factible emplearla en los viveros más tecnificados de México o en aquellos semitecnificados,

pero se debe de comprobar su correlación con la supervivencia en campo.

Investigaciones realizadas en plantas de *P. greggii*, *P. patula*, *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson, *P. pseudostrobus*, *P. radiata* y *P. thunbergii* Parl, producidas en diferentes condiciones de vivero e inoculadas con una o más especies de ectomicorriza, registraron efectos benéficos en el crecimiento, la concentración de nutrientes y la supervivencia en campo (Barroetaveña *et al.*, 2016; Carrasco-Hernández *et al.*, 2011; Duñabeitia *et al.*, 2004; Gómez-Romero *et al.*, 2013; Nakashima *et al.*, 2016).

El efecto de la inoculación con ectomicorriza en este experimento fue evidente en pocos indicadores e índices evaluados. Sin embargo, se espera que el comportamiento y, por consecuencia, el efecto detectado en la fase de vivero sean distintos en los sitios de plantación, tal como refiere Barroetaveña *et al.* (2016) y que se sustenta con lo mencionado en el párrafo anterior.

Hasta donde se conoce, existen pocos estudios en los que inoculen hongos ectomicorrícicos en sustratos alternativos como el aserrín y que evalúen el porcentaje de colonización micorrícica; lo cual es necesario para conocer con precisión el grado de colonización micorrícica de la planta. Han inoculado hongos ectomicorrícicos en sustratos a base de aserrín y se ha evaluado la presencia o ausencia de las micorrizas (Aguilera-Rodríguez *et al.* 2015). En este trabajo se realizó dicha evaluación y también se pudo observar que, bajo las concentraciones de fertilizantes utilizados, no afectó la colonización micorrícica.

Considerando los tratamientos con mayor número de indicadores satisfactorios de calidad de planta, más el número de características con valores óptimos en los sustratos, y tomando en cuenta porcentajes de colonización micorrícica mayores a 60% como calidad alta, los mejores tratamientos son: el 1 y el 13. Cabe señalar que ambos tratamientos fueron inoculados.

CONCLUSIONES

Es posible producir plantas de calidad con sustratos a base de aserrín, fertilizados e inoculados con el hongo ectomicorrícico *Laccaria laccata*. Esta forma de producción

en sustratos alternativos, como el aserrín, es una opción más rentable y viable de producción de planta en vivero.

RECONOCIMIENTOS

Al Conacyt por la beca otorgada al primer autor para la realización de sus estudios de posgrado. A la UACH por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de este estudio. Al Sr. Alejandro Mota Rivera por la semilla de *P. greggii*, el aserrín y la corteza de pino que donó para el presente estudio. A los alumnos Alejandro de Jesús Vicente Arbona, María Guadalupe Vicente Arbona y Edgar Fernando Vázquez Soto, por la colaboración en algunas actividades desarrolladas en este estudio.

REFERENCIAS

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2015). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 7–19.
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., & Ordaz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107–118.
- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal*. Publicación Especial 10. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Baixauli, C., & Aguilar, J. M. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias*. Valencia, España: Generalitat Valenciana.
- Barroetaveña, C., Bassani, V. N., Monges, J. I., & Rajchenberg, M. (2016). Field performance of *Pinus ponderosa* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi planted in steppe-grasslands of Andean Patagonia, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 307–316. doi: 10.4067/S0717-92002016000200009
- Bernaola-Paucar, R. M., Zamora-Natera, J. F., Vargas-Radillo, J. de J., Cetina-Alcalá, V. M., Rodríguez-Macias, R., & Salcedo-Pérez, E. (2015). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33), 74–93.
- Bunt, A. C. (1988). *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi: 10.1007/978-94-011-7904-1



- Carrasco-Hernández, V. (2010). *Aspectos ecofisiológicos de la raíz de Pinus pseudostrobus y P. patula y especies ectomicorrízicas comestibles de Hebeloma spp. y Laccaria spp.* Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Texcoco, Estado de México, México.
- Carrasco-Hernández, V., Pérez-Moreno, J., Espinosa-Hernández, V., Almaraz-Suárez, J. J., Quintero-Lizaola, R., & Torres-Aquino, M. (2011). Contenido de nutrientes e inoculación con hongos ectomicorrízicos comestibles en dos pinos neotropicales. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1), 83–96. doi: 10.4067/S0716-078X2011000100006
- Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., Pérez-Moreno, J., Duarte-Zaragoza, V. M., Navarros-Sandoval, J. L., & Quintero-Lizaola, R. (2018). Evaluación del costo de producción de inoculantes ectomicorrízicos neotropicales a base de esporas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 417–429. doi: 10.29312/remexca.v9i2.1082
- Carrera-Nieva, A., & López-Ríos, G. F. (2004). Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 10(2), 93–98.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Prácticas de reforestación: Manual básico* (1a ed.). Zapopan, Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2016). *Monitoreo de restauración forestal y reconversión productiva 2014*. Comisión Nacional Forestal.
- De Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26, 31–34. doi: 10.17660/ActaHortic.1972.26.5
- De Boodt, M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37, 2054–2062. doi: 10.17660 / ActaHortic.1974.37.20
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960a). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. doi: 10.5558/tfc36010-1
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960b). Seedling quality-soil fertility relationships of white spruce, and red and white pine in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36(3), 237–241. doi: 10.5558/tfc36237-3
- Duñabeitia, M. K., Hormilla, S., García-Plazaola, J. I., Txarterina, K., Arteché, U., & Becerril, J. M. (2004). Differential responses of three fungal species to environmental factors and their role in the mycorrhization of *Pinus radiata* D. Don. *Mycorrhiza*, 14(1), 11–18. doi: 10.1007/s00572-003-0270-5
- Duryea, M. L. (1985). Evaluating seedling quality: Importance to reforestation. En M. L. Duryea (Ed.), *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 1–4). Oregon: USA: Forest Research Laboratory, Oregon State University.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2015). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. Compendio de datos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gómez-Romero, M., Villegas, J., Sáenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques*, 19(3), 51–63. doi: 10.21829/myb.2013.193327
- Havis, J. R., & Hamillton, W. W. (1976). Physical properties of container media. *Journal of Arboriculture*, 2(7), 139–140.
- Hernández-Zárate, L., Aldrete, A., Ordaz-Chaparro, V. M., López-Upton, J., & López-López, M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48(6), 627–637.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2017). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>
- Landis, T. D. (1990). Growing media. En T. D. Landis, R. W. Tinus, S. E. McDonald, & J. P. Barnett (Eds.), *The container tree nursery manual (Vol. 2). Agriculture Handbook 674* (pp. 41–85). EUA: USDA Forest Service.
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes, Winter*, 5–12.
- Maldonado-Benitez, K. R., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389–398.
- Mañas, P., Castro, E., Vila, P., & de las Heras, J. (2010). Use of waste materials as nursery growing media for *Pinus halepensis* production. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 521–530. doi: 10.1007/s10342-009-0349-4
- Martínez, P. F., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En V. J. Flores R. (Ed.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37–77). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- McKay, H. M., & White, M. S. (1997). Fine root electrolyte leakage and moisture content: indices of Sitka spruce and Douglas-fir seedling performance after desiccation. *New Forests*, 13, 139–162. doi: 10.1023/A:1006571805960.

- Mena-Petite, A., Estavillo, J. M., Duñabeitia, M., González-Moro, B., Muñoz-Rueda, A., & Lacuesta, M. (2004). Effect of storage conditions on post planting water status and performance of *Pinus radiata* D. Don stock-types. *Annals of Forest Science*, 61(7), 695–704. doi: 10.1051/forest:2004060.
- Méndez-Neri, M., Pérez-Moreno, J., Quintero-Lizaola, R., Hernández-Acosta, E., & Lara-Herrera, A. (2011). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* inculado con tres hongos comestibles ectomicorrízicos. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 73–81.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Coria-Avalos, V. M., García-Magaña, J. de J., Hernández-Ramos, J., & Manzanilla-Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72–89.
- Nakashima, H., Eguchi, N., Uesugi, T., Yamashita, N., & Matsuda, Y. (2016). Effect of ectomycorrhizal composition on survival and growth of *Pinus thunbergii* seedlings varying in resistance to the pine wilt nematode. *Trees*, 30(2), 475–481. doi: 10.1007/s00468-015-1217-0
- Ortega, U., Majada, J., Mena-Petite, A., Sanchez-Zabala, Rodríguez-Iturrizar, N., Txarterrina, K., ..., & Duñabeitia, M. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests*, 31(1), 97–112. doi: 10.1007/s11056-004-7364-6
- Pastor, J. N. (2000). Utilización de sustratos en viveros. *Terra*, 17(3), 231–235.
- Prieto-Ruiz, Á. J., Domínguez-Calleros, P. A., Cornejo-Oviedo, E. H., & Nívar-Cháidez, J. J. (2007). Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques*, 13(1), 79–97. doi: 10.21829/myb.2007.1311237
- Reyes-Reyes, J., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 11(2), 105–110.
- Ritchie, G. A., Landis, T. D., Dumroese, R. K., & Haase, D. L. (2010). Assessing plant quality. In: *The Container Tree Nursery Manual. Volume 7, Seedling Processing, Storage, and Outplanting. Agriculture Handbook 674* (pp. 19–81). Washington, DC: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México: Mundi-Prensa.
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21–35. doi: 10.21829/myb.2014.201173
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz-Reyez, J. T., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina-Castañeda, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 69–82.
- Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques*, 14(2), 41–49. doi: 10.21829/myb.2008.1421211
- Sigala-Rodríguez, J. Á., Sosa-Pérez, G., Martínez-Salvador, M., Albarrán-Alvarado, D., & Soto-Jacinto, R. (2012). *Influencia de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de plantaciones forestales en Chihuahua*. Chihuahua: México: Sagarpa-Inifap.
- Wilkinson, K. M. (2009). Beneficial Microorganisms. En R. K. Dumroese, T. Luna, & T. D. Landis (Eds.), *Nursery manual for native plants A guide for tribal nurseries. Agriculture handbook 730* (pp. 247–262). Washington, DC: U.S.: Department of Agriculture, Forest Service.

Manuscrito recibido el 29 de mayo de 2018

Aceptado el 26 de octubre de 2018

Publicado el 19 de agosto de 2019

Este documento se debe citar como:

Vicente-Arbona, Carrasco-Hernández, Rodríguez-Trejo, & Villanueva-Morales. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* producido en sustratos a base de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521784. doi: 10.21829/myb.2019.2521784



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.