



Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México

State of the art of the research on seedling quality of the genus *Pinus* in Mexico

Sebastián Escobar-Alonso* y Dante Arturo Rodríguez Trejo

Abstract

Research on seedling quality is necessary to guide nursery production and to contribute to the improvement of survival in the field in reforestation programs. In order to investigate the use of morphological and physiological variables as well as the tests used for determining the quality of seedlings of nursery-grown Mexican *Pinus* species, a review of the subject was carried out in scientific articles published between the years 2000 and mid-2018 in different databases. 61 scientific articles (77 studies) were found. Diameter and height were the most used morphological attributes, followed by the shoot:root ratio. The most used physiological traits were the leaf concentration of nutrients and the water potential. Less than one third of the research includes the performance of field survival tests; more studies should be supported using this test in order to render the results more robust and applicable. Only 17 out of the 57 pine taxa in Mexico have been formally researched. Given the ecological and economic relevance of the genus, it is essential to continue researching the other species and to delve further into such topics as the analysis of micorrhizal species and the level of micorrhization in plants.

Keywords: Seedling quality, state of the art, quality indexes, pines, reforestation, forest nurseries.

Resumen

Las investigaciones sobre calidad de planta son necesarias para orientar la producción en vivero y contribuir a mejorar la supervivencia en campo de los individuos utilizados en programas de reforestación. Para indagar acerca del uso de variables morfológicas, fisiológicas y pruebas usadas en la determinación de la calidad de planta de especies nativas del género *Pinus* en México, producidas en vivero, se realizó una búsqueda de artículos científicos sobre el tema, publicados del año 2000 hasta mediados del 2018 en diferentes bases de datos. Se encontraron 61 artículos científicos (77 estudios). El diámetro y la altura resultaron ser los atributos morfológicos más utilizados, seguidos de la relación peso seco parte aérea entre peso seco de raíces. Respecto a los fisiológicos sobresalieron la concentración foliar de nutrientes y el potencial hídrico. En menos de un tercio de las investigaciones se llevó a cabo la comprobación de supervivencia en campo; por lo que, es importante aumentar el número de estudios respaldados con el uso de esta prueba, para dar mayor robustez y aplicabilidad a los resultados. Solo se han tratado, formalmente, 17 de los 57 taxones de pinos presentes en México. Dada la relevancia ecológica y económica del género, es importante continuar la investigación con los taxa faltantes, y profundizar en los ya considerados sobre temas como tipo de especies de hongos micorrícicos, su abundancia e intensidad de micorrización en las plantas, entre otros.

Palabras clave: Calidad de planta, estado del arte, índices de calidad, pinos, reforestación, viveros forestales.

Fecha de recepción/Reception date: 9 de mayo de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 9 de agosto de 2019

¹Universidad Autónoma Chapingo, México

*Autor por correspondencia; correo-e: sebastian9477@gmail.com

Introducción

Los bosques de pino tienen una gran importancia ecológica y económica en México. A menudo son el componente principal de la vegetación, influyen en los procesos del ecosistema, en los ciclos biogeoquímicos e hidrológico; son el hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre, y de ellos se obtiene madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles y otros productos no maderables (Sánchez, 2008).

México es un centro de diversificación del género *Pinus* y en su territorio se encuentra el mayor número de sus taxones; lo anterior es provocado, en gran medida, por procesos orográficos y climáticos en el pasado geológico (Challenger y Soberón, 2008). Gernandt y Pérez (2014) señalan que en la república mexicana hay 57 de los aproximadamente 120 taxa del género. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2001), 35 presentan un estado de preocupación menor, siete son vulnerables, ocho están cercanas a ser amenazadas, seis en peligro de extinción y una con estatus desconocido.

La nación mexicana forma parte de un fenómeno a nivel mundial, en el cual los bosques de pino están siendo fragmentados y modificados, principalmente, por la introducción de especies no nativas, la tala ilegal, la expansión de tierras agrícolas y de los incendios forestales (regímenes de fuego alterados) (Chapa *et al.*, 2008; Ortíz *et al.*, 2008; Bekele, 2011; Otavo y Echeverría, 2017). Lo anterior, hace crucial la implementación de programas para la conservación y propagación de las especies en riesgo; así como de las que no lo están, a través de estrategias que logren un suministro sostenible de germoplasma o material de siembra (Broadhurst *et al.*, 2015). Este panorama genera la necesidad de la producción de planta en viveros.

Los factores que limitan el establecimiento en campo de los individuos producidos incluyen los antrópicos, como el pastoreo; pero también, los naturales (heladas y sequías). Cuando se trata de estos últimos, en gran medida el problema estriba en la calidad de planta (Bautista *et al.*, 2005; Robles *et al.*, 2017; Prieto *et al.*, 2018), la que se puede definir entonces, como las características morfo-fisiológicas de la planta

que le permiten su supervivencia, crecimiento y desarrollo en el sitio de plantación (Duryea, 1985). De ellas, las que evidencian calidad dependen de la genética, pero también de la tecnología de propagación (Rodríguez, 2008; Prieto *et al.*, 2009). En el presente trabajo se emplea el término planta de calidad; sin embargo, se han usado otros como se aprecia a continuación.

La evolución del concepto brinzal de calidad fue analizada por Grossnickle y MacDonald (2018), quienes señalan que el término se ha transformado desde el de brinzales deseables, que son seleccionados por su vigor y capacidad de crecimiento, al de brinzal objetivo, con características morfológicas y fisiológicas relacionables cuantitativamente con la supervivencia en el sitio de plantación (Mexal y Landis, 1990); hasta la aplicación operativa de este último concepto y su expansión al de planta objetivo (incluye especies arbóreas arbustivas y herbáceas) (Landis, 2011), así como su aplicación en la relación viverista-reforestador, con el propósito de alcanzar objetivos específicos de reforestación (Dumroese *et al.*, 2016).

Para la determinación de la calidad de planta, se utilizan una serie de parámetros morfológicos y fisiológicos; así como pruebas que ayudan a predecir si los individuos por plantar sobrevivirán. Los atributos morfológicos más usados son el diámetro (D), altura (A), peso seco total (PST), peso fresco total (PFT), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de raíces (PSR). Se han propuesto índices que relacionan las variables anteriores, como el Índice de Esbeltez (IE), la relación PSA/PSR, el Índice de *Dickson* (ID) (Dickson *et al.*, 1960) y el Índice de Lignificación (IL). Los atributos fisiológicos que se emplean comúnmente son el potencial hídrico, la concentración de nutrientes y de carbohidratos no estructurales (CNE), la fotosíntesis neta y el Índice de Mitosis, entre otros. Asimismo, hay pruebas de comportamiento que incluyen la de crecimiento potencial de raíz (PCR), la resistencia al frío y a la sequía, entre otras (Duryea, 1985). Existen intervalos de calidad para los atributos morfológicos y algunos fisiológicos para varias coníferas mexicanas, que permiten clasificar la calidad de los pinos (cespitosos y no cespitosos) y de las latifoliadas, los cuales fueron propuestos por Sáenz *et al.* (2010) y modificados por Rueda *et al.* (2014).

Numerosos parámetros se han incluido en las investigaciones con pinos mexicanos. Sin embargo, no existe un análisis sobre su frecuencia de uso, el éxito que han tenido de cada uno de ellos, ni el de las especies estudiadas. Con base en lo anterior, el objetivo de esta revisión bibliográfica es indagar sobre el uso de variables morfológicas, fisiológicas y pruebas de comportamiento para determinar la calidad de planta producida en vivero de las especies nativas del género *Pinus* en México, con la finalidad de hacer un diagnóstico y ayudar a vislumbrar oportunidades de investigación sobre dicho tema.

Metodología

La búsqueda de literatura se realizó en las bases de datos: *ScienceDirect*, *Scopus*, *JSTOR*, *SciELO*, *Springer*, *Redalyc* y *Google Scholar*. La revisión se hizo tanto en inglés, como en español y comprendió exclusivamente artículos de revistas científicas publicados del año 2000, hasta mediados de 2018. No se incluyeron citas de años anteriores porque son casi inexistentes. Las palabras usadas se concentraron en título y palabras clave relacionadas con la producción de planta en vivero y calidad de planta de especies mexicanas de pino; por ejemplo, calidad, calidad de planta, *Pinus*, México, parámetros morfológicos, parámetros fisiológicos, supervivencia, sobrevivencia. Dado que algunos artículos incluyen más de una especie, a la investigación de cada una de ellas se le denominó estudio.

Investigaciones y especies estudiadas

Para el periodo analizado, se hallaron 61 artículos, correspondiente a 77 estudios sobre el tema y el género de interés, con una media de 4.3 por año. La variabilidad fue de 0 (2006) a 8 (2015). Aunque no se aprecia una tendencia anual directa en el aumento de publicaciones, si se nota que dos terceras partes se publicaron en los últimos 10 años (Figura 1).

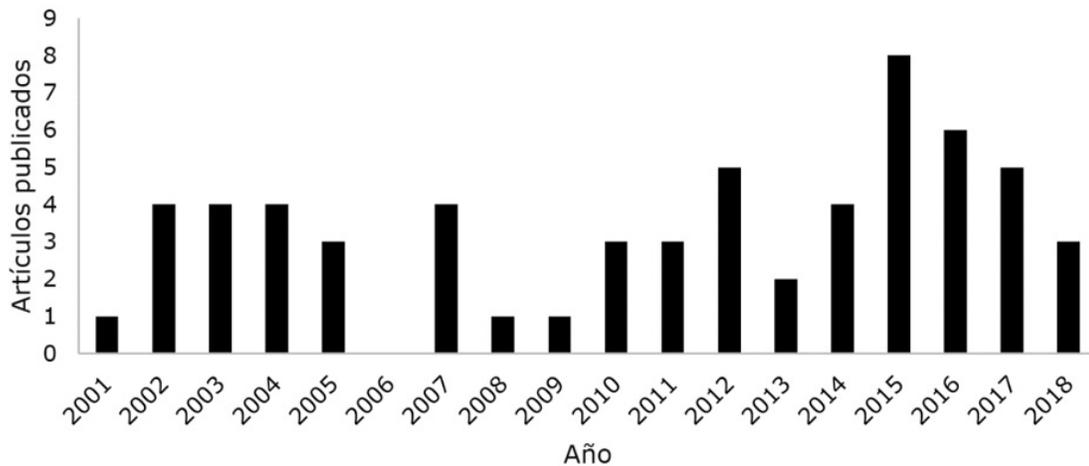


Figura 1. Artículos publicados en revistas científicas sobre calidad de planta en pinos mexicanos.

Solamente se han editado trabajos de 17 de los 57 taxones que existen en México (29.8 %). Las especies más estudiadas son, en orden descendente: *P. pseudostrobus* Lindl., *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. hartwegii* Lindl. y *P. montezumae* Lamb. (Figura 2). Las cuatro suman 52 % de los estudios revisados. Lo anterior, a pesar de que Perry (1991) señala que varios taxones mexicanos de pino tienen gran potencial para utilizarse en plantaciones forestales comerciales.

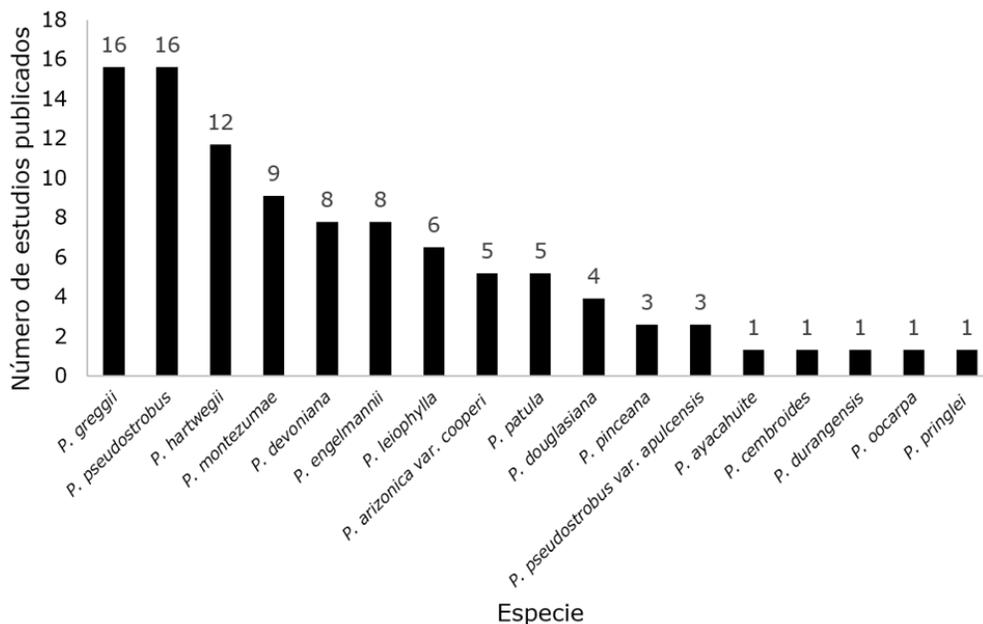


Figura 2. Estudios publicados en revistas científicas por especie.

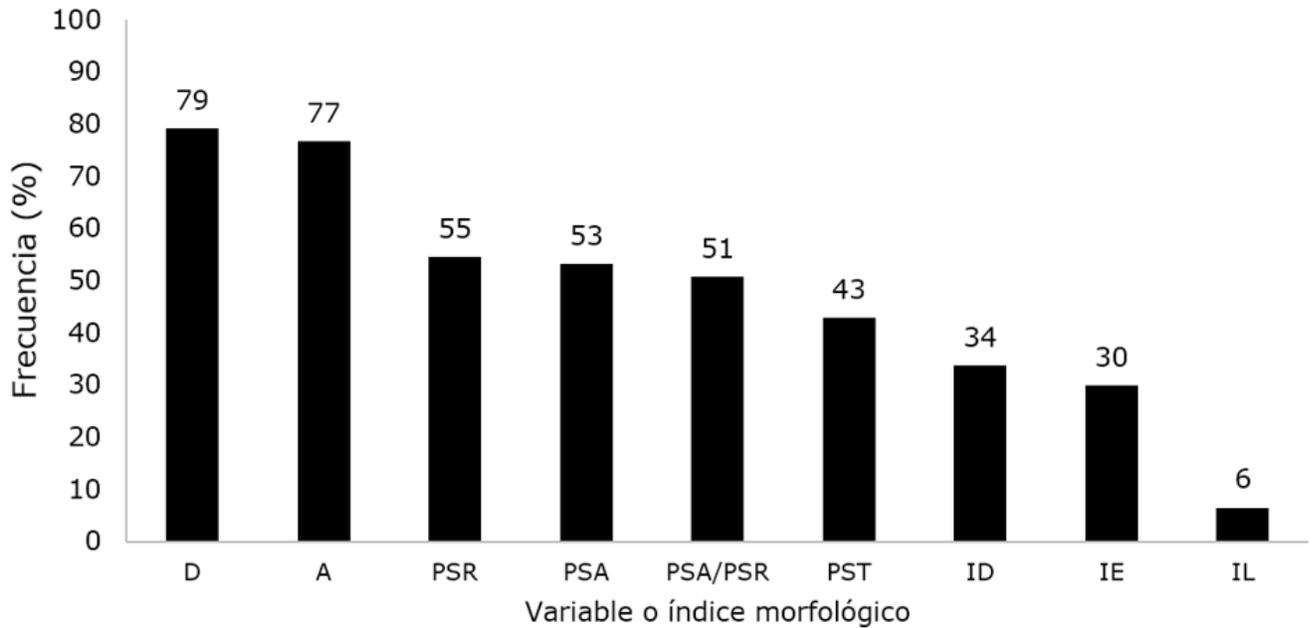
La mayoría de las especies estudiadas tienen importancia económica. Entre los taxones no considerados, están los de menor importancia económica, pero con relevancia ecológica o con algún nivel de riesgo de conservación; por ejemplo, *Pinus attenuata* Lemmon, *P. contorta* Douglas ex Loudon var. *murrayana*, *P. jeffreyi* Balf., *P. maximartinezii* Rzed., *P. rzedowski* Madrigal et M. Caball. y *P. chiapensis* (Martínez) Andresen, los cuales forman parte de los 20 taxones incluidos en la Norma Oficial Mexicana de Especies en Riesgo (Semarnat, 2010), que demandan investigación en términos de restauración forestal.

Además, existen trabajos de conservación y restauración, incluido el tema de calidad de planta. Destaca que la gran mayoría de los estudios está dirigida a especies de clima templado-frío (94.6 %), solo 4 % y 1.4 % se refieren a especies de regiones semiáridas y tropicales, respectivamente; si bien, la mayoría de las especies nacionales corresponden al primer tipo de clima.

Variables e índices morfológicos

Las variables morfológicas más utilizadas son diámetro (61 estudios) y altura (59 estudios) (Figura 3). Los indicadores morfológicos para los 17 taxones estudiados se muestran en el Cuadro 1.





D = Diámetro; A = Altura; PSR = Peso seco de raíces; PSA = peso seco parte aérea; PSA/PSR = Relación peso seco parte área y raíces; PST = Peso seco total; ID = Índice de *Dickson*; IE = Índice de esbeltez; IL = Índice de lignificación.

Figura 3. Proporción de estudios encontrados por variable morfológica (Núm. total de estudios: 77, en 61 artículos).



Cuadro 1. Variables e índices morfológicos en algunas especies del género *Pinus*.

Especie	TP	TDP	Variables e índices morfológicos							Ref.	
			D (mm)	A (cm)	PSA (g)	PSS (g)	PST (g)	PSA/PSS	IE		ID
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i> (C.E.Blanco)Farjon	C	8-11	3.0-4.8	10-25	1.6-2.3	0.7-1.2	2.3-3.7	1.6	2.2	0.9	1,2,3,4
<i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	BP	8	6.6	28.4	7.5	3.0	10.5	2.7	5.6	1.6	5
<i>P. cembroides</i> Zucc.	C	9.5	4.8	19.3	5.7	4.8	10.5	1.2	4.0	2.1	6
<i>P. devoniana</i> Lindl.*	C	9-12	7.1-13.5	8.6-11.2	3-10.6	1.2-3.3	4.2-13.9	0.4-3.2	2-12.2	1.2	7,8,9
<i>P. devoniana</i> Lindl.*	BP	8	15.9	9.8	10.5	3.7	14.2	2.8	6.3	2.5	5
<i>P. douglasiana</i> Martínez	C	7-12	3.3-5.0	13.3-35.3	5.3	1.1	6.5	3.1-3.6	4.2-6.1	0.2	8,9,10
<i>P. durangensis</i> Martínez	C	-	3.3	9.6	-	-	4.5	1.1	-	-	11
<i>P. engelmannii</i> Carrière*	C	7.5-12	4.4-6.5	10.2	2.4-3.8	0.4-2.8	2.8-6.6	3.2-6.1	1.6-2.2	0.4-1.2	12,13,14,15
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	BP	10	3.9	24.9	-	-	-	0.4	-	0.5	16
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	C	7-14	3.5-9.2	26.7-36.6	2.3-15.8	0.6-5.3	2.9-21.1	2.6-4.2	3.3-10.4	0.2-0.4	7,8,17,18
<i>P. hartwegii</i> Lindl.**	C	12	5.2	4.3	1.5	0.9	2.4	1.7	0.8	1.0	19
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	C	12	3.5-4.6	14.4-30.0	1.7-2.6	0.5-1.2	2.1	0.3	-	0.3	20,21,22
<i>P. montezumae</i> Lamb.*	BP	8	11.2	-	5.1	2.3	7.3	0.4	-	-	23
<i>P. montezumae</i> Lamb.*	C	9.5-10	8.1-11.4	-	4.0-4.8	1.2-2.7	5.2-7.5	1.8-3.7	-	-	24,25
<i>P. oocarpa</i> Schiede	C	-	3.9	34	-	-	-	4.3	9.8	-	8
<i>P. patula</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	C	7.5	3.2	20.3	1.1	0.9	2.0	1.3	6.4	0.3	26
<i>P. pringlei</i> Shaw	C	13	6.6	15.4	4.5	3.6	8.1	1.2	-	-	27
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	BP	8	6.2	14.9	6.4	1.4	7.9	0.2	-	-	23
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	C	9-12	3.8-6.5	24.3-29.4	1.2-7.5	0.3-2.3	1.4-2.3	2.9-3.4	4.6-7.6	0.4-1.3	7,28,29
<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw	BP	7.5	3.3	18.5	1.2	2.5	3.6	2.3	-	-	30

*Especie cespitosa; **A veces cespitosa. TP = Tipo de producción (C = Contenedor; BP = Bolsa de polietileno). TDP = Tiempo de producción (meses); Ref.=Referencia(s). Referencias: 1 (Prieto *et al.*, 2004b); 2 (Prieto *et al.*, 2007); 3 (Prieto *et al.*, 2012); 4 (Prieto *et al.*, 2018); 5 (Muñoz *et al.*, 2015); 6 (Gutiérrez *et al.*, 2015); 7 (Sáenz *et al.*, 2014); 8 (Rueda *et al.*, 2012); 9 (Bernaola *et al.*, 2016); 10 (Rueda *et al.*, 2014); 11 (Arteaga *et al.*, 2003); 12 (Ávila *et al.*, 2014); 13 (Rosales *et al.*, 2015); 14 (Martínez *et al.*, 2015); 15 (García *et al.*, 2015); 16 (Barajas *et al.*, 2004); 17 (Martínez *et al.*, 2012); 18 (Sánchez *et al.*, 2016); 19 (Bernaola *et al.*, 2015); 20 (Palacios *et al.*, 2017); 21 (Palacios *et al.*, 2015); 22 (Buendía *et al.*, 2017); 23 (Aldrete *et al.*, 2002); 24 (Hernández *et al.*, 2014); 25 (Aguilera *et al.*, 2016a); 26 (Romero *et al.*, 2012); 27 (López *et al.*, 2018); 28 (Aguilera *et al.*, 2016b); 29 (Ávila *et al.*, 2017); 30 (Reyes *et al.*, 2005). Nota: Los intervalos señalados incluyen los mejores valores recomendados en las referencias dadas para cada variable o índice.

En la revisión aparecieron otras variables e índices morfológicos que se usaron en menor medida, como: longitud de la raíz principal (Ortíz y Rodríguez, 2008; Ávila *et al.*, 2014; Robles *et al.*, 2017), peso seco aéreo relativo y peso seco subterráneo relativo (Sosa y Rodríguez, 2003; Robles *et al.*, 2017), relación altura/longitud de raíz principal (Pineda *et al.*, 2004; Sáenz *et al.*, 2014; Muñoz *et al.*, 2015), número y longitud de ramillas (Pineda *et al.*, 2004), volumen de la parte aérea o radical (Prieto *et al.*, 2009; Bernaola *et al.*, 2015, 2016; Prieto *et al.*, 2018). Respecto a los índices morfológicos, se cita en dos ocasiones al Índice de Contenedor-Raíz (ICR) (Bernaola *et al.*, 2015, 2016). Este se calcula dividiendo el volumen del contenedor (cm^3) entre el volumen radical (cm^3). En la última cita se indica que cuanto más grande es el valor del ICR (27.5 y 125.0), mayor es el porcentaje de supervivencia (13 y 94 %, respectivamente), con plantas de *P. hartwegii* después de dos años de establecidas en campo.

Diámetro. Se usó en 79 % de los estudios. Una planta con buen diámetro tiene más posibilidades de tener una adecuada lignificación, reservas de carbohidratos, mayor cantidad de yemas para la rebrotación y un sistema radical más desarrollado (Rodríguez, 2008). Para Mexal y Landis (1990), de todos los atributos, este es el más relevante, pues define la robustez del tallo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación. Según Sáenz *et al.* (2014), los ejemplares producidos en tubetes o charolas de poliestireno, con diámetro >5 mm son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños producidos por plagas, aunque ello puede variar, en función de la especie. Sin embargo, esas tendencias no son universales (Grossnickle, 2012).

Se observaron diámetros diferentes para distintos taxones, de acuerdo con el tiempo y la tecnología de producción en vivero. Algunos ejemplos para la producción en contenedor son *P. hartwegii* de 12 meses, con 5.1 mm (Bernaola *et al.*, 2015); *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltldl. de 8 meses, con 6.6 mm (Muñoz *et al.*, 2015); y *P. devoniana* Lindl. de 7 meses, con 4.2 mm (Rueda *et al.*, 2014). En el caso de plantas producidas en bolsas de polietileno: *P. montezumae* de 8 meses, con 11.2 mm (Aldrete *et al.*, 2002) y de 24 meses, con 15.1 mm (Robles *et al.*, 2017).

Esta información es solo una referencia, porque el diámetro es una característica que varía, para la misma especie, por factores como el tipo y capacidad del contenedor usado (Bernaola *et al.*, 2015), la procedencia de la semillas (Ortega *et al.*, 2003), presencia de micorrizas (Martínez *et al.*, 2015) y tipo de sustrato (Arteaga *et al.*, 2003); si se usa malla sombra, así como el tiempo que se deje sobre el cultivo, o si se trata de una especie cespitosa, entre otros factores. En la medida que el sitio de plantación es más adverso (con mayor limitación de humedad, exposiciones sur, suelos pobres o degradados, etcétera.), el valor límite para este indicador aumentará y viceversa, en sitios más productivos tenderá a ser menor. Con *P. taeda* L., producidos a raíz desnuda, South *et al.* (1985) hallaron que la probabilidad de mortalidad en campo mayor a 75 % fue de 88 % en árboles con un diámetro de cuello de raíz < 2.4 mm, pero en la medida que el diámetro aumentó se redujo dicha probabilidad, hasta alcanzar 8 % en aquéllos con diámetro > 6.3 mm.

Altura. El siguiente atributo más utilizado fue la altura, en 77 % de los estudios. Esta característica se ha usada como predictor de la calidad de una planta, debido a que es una medida general de su capacidad fotosintética y de transpiración; lo cual se refleja en un desarrollo de la estructura radical y, finalmente, mejor aprovechamiento de nutrientes, agua y anclaje (Mexal y Landis, 1990). Una buena altura permite a la planta competir por espacio de crecimiento y la captura de más radiación solar, en comparación con plantas más pequeñas (Grossnickle, 2012).

Sin embargo, en sitios adversos los árboles altos pueden tener menor supervivencia; mientras que, en lugares propicios estos individuos logran mejores resultados, sobre el particular. Por ejemplo, Tuttle *et al.* (1988) hallaron que *P. taeda* a los 2 años de plantado en sitios productivos, presentó un incremento en la supervivencia con respecto a la altura de los árboles, hasta llegar a 98 % en los ejemplares con 35 cm de alto; por el contrario, en sitios desfavorables tuvieron una supervivencia de 55 %. Desde luego, en especies cespitosas la altura no es un indicador útil.

P. pseudostrobus producido en contenedores registra alturas de 27.9, 24.3 y 29.4 cm a los 9, 10 y 12 meses, respectivamente (Sáenz *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016b;

Ávila *et al.*, 2017); *P. hartwegii* de 16.11 y 34.8 cm, con 12 y 24 meses (Viveros *et al.*, 2007; Bernaola *et al.*, 2015). En sistema de producción tradicional en bolsas de polietileno, se observa que *P. greggii* a los 10 meses alcanza 24.9 cm (Barajas *et al.*, 2004).

Pesos secos y relación PSA/PSR. El PSA se determinó en 53 % y el PSR en 55 % de los estudios revisados. La razón por la que se determina el peso en base seca es porque la cantidad de agua en el tejido vegetal puede variar mucho, para lo cual, el peso fresco proporciona una medición menos consistente que el peso seco (Haase, 2007). En cuanto al PST, aparece citado en 43 % de los estudios. Una planta de calidad debe ser tan pesada como sea posible para producir el mejor crecimiento, sin dejar de tener el equilibrio entre brotes y raíces necesarios para sobrevivir (Thompson, 1985). Además, se ha comprobado que existe una fuerte relación entre el peso seco de las plantas y el diámetro del tallo (Ritchie, 1984); por lo tanto, se correlaciona con la supervivencia y el crecimiento en campo.

La relación PSA/PSR provee más información que los pesos secos individuales, y fue determinada en 51 % de los estudios. Una planta de calidad debe tener una relación PSA/PSR baja para aumentar la posibilidad de sobrevivir; puesto que, al presentar una estructura radical bien desarrollada tendrá una mejor absorción de nutrientes y accesibilidad al agua. En esta revisión se identificaron valores desde 0.2 en *P. pseudostrobus* producido en bolsa (Aldrete *et al.*, 2002), hasta de 3.2 a 6.1 en *P. engelmannii* Carrière en contenedor (Rosales *et al.*, 2015; García *et al.*, 2015). Rueda *et al.* (2014) recomiendan un valor <2.0.

Índice de Dickson. El ID relaciona las variables diámetro, altura, PSA/PSS y los ajusta por efecto del tamaño de la planta (PST). Valores altos representan un buen y equilibrado desarrollo de la planta (Reyes *et al.*, 2005). Según Rueda *et al.* (2014), plantas con ID > 0.5 son de buena calidad; en la presente revisión se obtuvieron valores desde 0.07 para *P. engelmannii* (Rosales *et al.*, 2015), hasta 4.7 para *P. montezumae*, especie cespitosa producida en bolsa (Robles *et al.*, 2017).

Índice de esbeltez. El IE es la relación entre la altura y el diámetro de la planta; mientras menor sea su valor, más baja y gruesa será, lo que la hará más apta para

los ambientes con limitaciones de humedad o fríos (Rodríguez, 2008). Roller (1977) demostró que un Índice de Esbeltez menor de 6.0, se asocia con una mejor calidad de los individuos, en *Picea mariana*. En la literatura consultada se encontraron valores de 1.6 para *P. devoniana* a los 7 meses de edad (Rueda *et al.*, 2014), hasta 10.4 para *P. greggii* de 9 meses (Sáenz *et al.*, 2014). Si durante el cultivo el índice es grande, se recomienda realizar podas aéreas; lo cual también se puede aplicar cuando la relación PSA/PSS tiene valores altos, con el fin de compensar la parte transpiracional con la de absorción de agua.

Índice de lignificación. Índice de lignificación, citado en 6 % de los trabajos, proporciona una estimación del grado de robustez que se necesita para que la planta soporte el estrés, como el hídrico, en el sitio de plantación (Prieto *et al.*, 2009). Para *P. engelmannii* se registraron valores de 29.2, 22.9 y 24.3 %, al evaluar la reducción en la disponibilidad de humedad como preacondicionamiento (Prieto *et al.*, 2004a; Ávila *et al.*, 2014); en *P. leiophylla* Schiede ex Schldl. et Cham. fue de 30.9 %, al considerar sustratos y tasas de adición de nutrientes (Buendía *et al.*, 2017). Aunque este índice pueda ser una estimación útil, determinar el peso húmedo de una planta es poco preciso, como ya se discutió.

Variables fisiológicas

Concentración de nutrientes. El estudio de la concentración de nutrimentos se ha enfocado, principalmente, al nitrógeno (36.4 % del total de estudios), fósforo (32.5 %) y potasio (28.6 %) (Figura 4) (Cuadro 2). Esto es importante porque se evalúa a uno de los componentes más críticos en la producción de viveros de alta calidad: la fertilización (Jacobs y Landis, 2009). Según estos autores, las plantas requieren cantidades adecuadas de nutrientes para el equilibrio de los procesos fisiológicos básicos, como la fotosíntesis y la promoción de un rápido crecimiento y desarrollo. Sin un buen suministro de nutrientes, el crecimiento se ralentiza, y se reduce el vigor de la planta. Una buena fertilización promueve mejores tasas de

crecimiento. Sin embargo, un exceso de nutrientes puede afectar el óptimo desarrollo de los individuos, hasta llegar a ser tóxicos; por eso, medir la concentración de nutrientes es útil como un estimador de calidad (Gutiérrez *et al.*, 2015). Otro efecto negativo de una fertilización abundante, con concentraciones de N en la zona de consumo superfluo, favorece la síntesis de citocininas, el desarrollo foliar, así como bajo desarrollo radical y escasa disponibilidad de carbohidratos de reserva; como lo documentan Rodríguez *et al.* (2002) en *P. palustris* Mill. del sureste de EE. UU., producido a raíz desnuda.

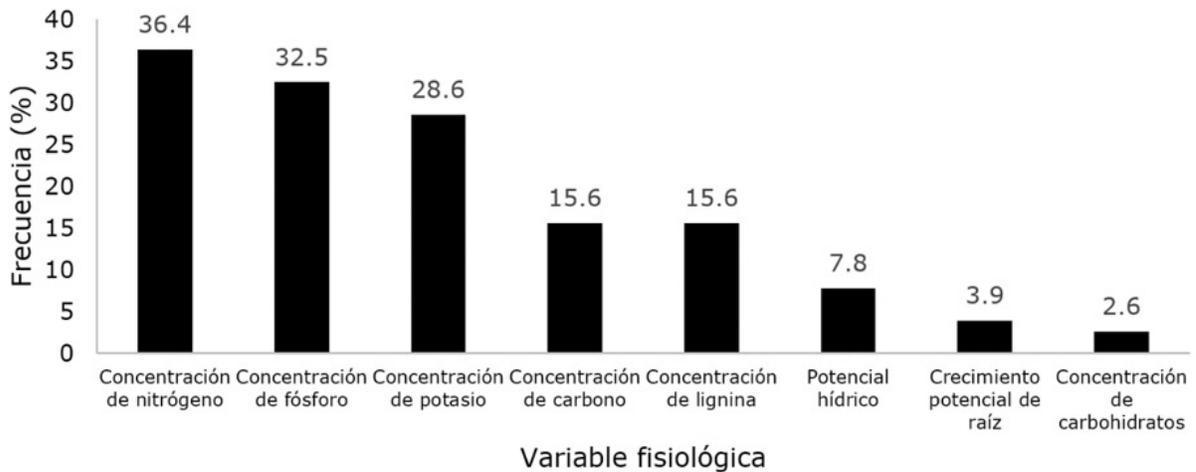


Figura 4. Proporción de estudios encontrados por variable fisiológica.



Cuadro 2 Algunos indicadores fisiológicos en especies de *Pinus*.

Especie	TP	TDP (meses)	N (%)	P (%)	K (%)	C (%)	Lignina (%)	Ref.
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i> (C.E.Blanco)Farjon	C	8	1.5	0.2	1.5	-	-	1
<i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltldl.	BP	8	1.3	0.2	0.6	45.9	20.2	5
<i>P. cembroides</i> Zucc.	C	9.5	1.7	0.7	2.3	-	-	6
<i>P. devoniana</i> Lindl.	C	9-12	0.5-1.3	0.1-0.3	0.5-0.7	45.3-45.4	-	7,8,9
	BP	8	1.4	0.2	0.7	45.3	21.5	5
<i>P. douglasiana</i> Martínez	C	7	1.1-1.2	0.2-0.5	0.2-0.6	45.4-46.3	7.0-22.4	8,10
<i>P. engelmannii</i> Carrière	C	12	1.3	0.2	0.4	-	-	15
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	C	9	1.0-1.3	0.2	0.6-0.7	45.9-46.0	21.5-25.6	7,8
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	C	17	1.2	0.2	-	-	-	31
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltldl. & Cham.	C	-	2.3	0.2	0.5	-	-	22
<i>P. montezumae</i> Lamb.	C	9.5	1.2	0.2	0.3	-	-	25
<i>P. oocarpa</i> Schiede	C	-	1.4	0.3	0.6	45.3	18.5	8
<i>P. pringlei</i> Shaw	C	13	0.5	0.1	0.1	-	-	27
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	C	9	1.0-1.1	0.2-0.3	0.6-0.6	45.2-45.9	20.0-20.4	8,32
Valores recomendados [†]	-	-	1.4-2.2	0.2-0.4	0.4-1.5	-	-	

TP = Tipo de producción (C = Contenedor, BP = Bolsa de polietileno). TDP = Tiempo de producción. Ref. = Referencia(s). Referencias: 31 (Ortega y Rodríguez, 2007); 32 (Gómez *et al.*, 2013). [†]Valores estándares para nutrientes de área foliar para plantas producidas en contenedor (Landis, 1989).

Nota: Los intervalos señalados abarcan los mejores valores recomendados en las referencias para cada variable o índice.

Cada nutriente tiene funciones en los procesos fisiológicos de la planta, su cuantificación ayuda a establecer la calidad de la misma (Jacobs y Landis 2014). No obstante, solo cuatro estudios analizaron macronutrientes secundarios y micronutrientes; destaca que tres de ellos hacen referencia al uso de hongos ectomicorrízicos (Martínez *et al.*, 2012; Rentería *et al.*, 2017; Barragán *et al.*, 2018) y uno evalúa el efecto de dos niveles de pH de agua de riego y dos de fertilización en la morfología y concentración nutrimental foliar de *P. cembroides* Zucc. (Gutiérrez *et al.*, 2015).

En algunos estudios, los niveles de N, P y K están por debajo o por arriba de los propuestos por Landis (1989) para coníferas producidas en contenedor. Sin embargo, la mayoría declaran una buena calidad de planta y no se presentan respuestas visibles de deficiencia o exceso de nutrientes. Esto sugiere que, ante la diversidad de especies forestales mexicanas, las concentraciones nutrimentales sugeridas representan un buen punto de partida, pero hay que afinarlo y con frecuencia reduciéndolas.

Concentración de carbohidratos. Para esta variable solo se encontraron dos estudios (2.6 %) para *P. greggii* (Cetina *et al.*, 2001; Cetina *et al.*, 2002). Dichos autores compararon la respuesta en el almacenamiento de azúcares solubles y almidón ante tratamientos de poda aérea y de raíz, así como regímenes de riego. En ambos trabajos se enfatizó la importancia que tiene la acumulación de CNE como reservas fundamentales para la supervivencia, especialmente, ante condiciones adversas. Los CNE juegan un rol sobresaliente en los procesos de transporte, metabolismo energético y osmorregulación, además como materia prima en la síntesis de compuestos de defensa e intercambio con micorrizas en la adquisición de nutrientes; y pese a su protagonismo en la funcionalidad de la planta, la comprensión de la dinámica de su almacenamiento, sus controles y respuesta al estrés ambiental es muy limitada; por lo que, aún hace falta continuar con la investigación en este campo (Marshall, 1985; Hartmann y Trumbore, 2016).

Potencial hídrico (Ψ_h). Se utilizó en 7.8 % de los estudios. Este indicador (cuyo valor numérico es igual al de estrés hídrico, pero con símbolo contrario), es una medida de la energía libre o potencial química del agua y está conformado,

principalmente, por dos componentes en una planta de vivero: el potencial osmótico (Ψ_o) y el potencial de presión (Ψ_p) (Landis *et al.*, 1989).

Por lo regular se expresa en MPa; en términos generales, una planta presenta estrés de moderado a muy alto, cuando su valor corresponde a un intervalo de -1.0 a -2.5 MPa (Ritchie *et al.*, 2010). Es importante conocer los niveles de estrés hídrico que cada especie puede tolerar, para que no fracasen los programas de restauración. Un ejemplo claro de esto es el uso de *P. leiophylla* como especie pionera que soporta un estrés hídrico de hasta -3.5 MPa (Castelán, 2014).

A pesar de ser un buen predictor de la resistencia a la sequía en campo, el Ψ_h es muy dinámico y puede afectarse por las condiciones ambientales, la especie y su procedencia, el nivel de reposo, la resistencia al estrés y la edad de la planta (Haase, 2007). Así pues, el Ψ_h reflejaría la calidad de la planta solo cuando el estrés es moderadamente alto y se mantiene durante varios días (Ritchie *et al.*, 2010). Dada esa situación, existen otras pruebas como la susceptibilidad de cavitación del xilema, la estabilidad de la membrana celular o la eficiencia fotoquímica que proporcionarían más información sobre los niveles de potencial hídrico que alcanza una planta hasta que su funcionamiento fisiológico se dañe o afecte, irreversiblemente.

Pruebas de desempeño

Las pruebas de desempeño o atributos de rendimiento se determinan colocando muestras de plantas en entornos controlados específicos y evaluando sus respuestas. Tienen el inconveniente de consumir mucho tiempo; sin embargo, dan resultados en las respuestas de la planta que a menudo se relacionan con el rendimiento en el campo (Ritchie, 1984). Entre las más usadas, en el mundo, están: la prueba de resistencia al frío y crecimiento potencial de raíz, citadas en solo 1 % y 5 % de los estudios, respectivamente.

Resistencia al frío. Se refiere a la temperatura mínima a la cual un porcentaje de una población de brinzales sobrevivirá o mantendrá un nivel dado de daño (Ritchie,

1984). En zonas templadas y frías la resistencia al frío ocurre de manera natural, se expresa con el endurecimiento de la planta; sin embargo, cuando se pretende hacer la producción de planta en viveros, es necesario comprender el proceso de resistencia al frío para obtener material debidamente endurecido (Glerum, 1985).

El único caso, en los artículos revisados, en el cual se usó esta variable fue el de Ramírez y Rodríguez (2010), quienes aplicaron diferentes concentraciones de nitrato de potasio, durante la etapa de endurecimiento, a plantas de *Pinus hartwegii* producidas en vivero, que alcanzaron 13 meses de edad. Se modeló la probabilidad de daños por frío después de una helada (a -5 °C por 2 h), simulada en una cámara de ambiente controlado. El daño se determinó de manera visual; aunque existen otros métodos para evaluar la resistencia al frío como la prueba de pérdida de electrolitos (Dexter *et al.*, 1932; McKay, 1992; Burr *et al.*, 2001) y la medición de fluorescencia en la clorofila (Vidaver *et al.*, 1988). Finalmente, algunos autores han evidenciado los efectos del frío de forma directa en campo. Un caso es el de Viveros *et al.* (2007), quienes con esta modalidad probaron que pueden existir variaciones intraespecíficas en la tolerancia al frío.

Crecimiento potencial de raíz. Se encontraron solo tres estudios que lo utilizaron (3.9 % del total). Sánchez *et al.* (2016) trasplantaron plantas de *Pinus oaxacana* y *P. greggii* en macetas con capacidad de 10 L, en un sustrato de corteza (70 %) y perlita (30 %). Los individuos se mantuvieron durante 28 días en el invernadero con la aplicación de riegos diarios; al término de los cuales, se registraron 17 y nueve raíces, respectivamente. Ávila *et al.* (2017) siguieron la misma metodología, pero durante 40 días con *P. oaxacana*.

Por otro lado, Robles *et al.* (2017), en *P. montezumae*, utilizaron macetas de 4 L con un sustrato distinto y riegos cada dos días durante un mes. Estos autores correlacionaron supervivencias superiores a 80 % con una media de 55 raíces nuevas; se concluyó que la prueba es buena para estimar la supervivencia a partir de la capacidad de las plantas para emitir raíces; puesto que en general, proporciona una idea de la funcionalidad de varios sistemas fisiológicos (Ritchie *et al.*, 2010). Sin

embargo, también ha sido ampliamente discutida, ya que su precisión se restringe a especies que producen abundantes raíces y crecen en ambientes no limitativos (Simpson y Ritchie, 1997; Oliet *et al.*, 2003; Ritchie y Landis, 2003).

Factores de vivero

La calidad de planta puede afectarse por muchas razones; por ello, el viverista debe procurar una adecuada conjugación de los factores bióticos y abióticos para alcanzar una buena calidad. Al respecto, distintas investigaciones se han enfocado en evaluar el efecto directo de dichos aspectos a través de los años. En esta revisión fue notoria la recurrencia de variables como el tipo y tamaño de contenedor, sustrato usado, fertilización aplicada, precondicionamiento aplicado, y otros como tipo de poda y el uso de micorrizas. De manera general, se evidenció que con el uso de contenedores de mayor capacidad se obtienen mejores desarrollos radicales y calidad de planta (Prieto *et al.*, 2007; Bernaola *et al.*, 2015). Por otro lado, el sustrato más usado en las diferentes investigaciones fue la turba de musgo, debido a sus propiedades fisicoquímicas idóneas (Li *et al.*, 2009); sin embargo, se observó que en la mayoría de los estudios, los sustratos alternativos propuestos produjeron resultados similares o superiores a la turba (Reyes *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2014; Aguilera *et al.*, 2016a; Aguilera *et al.*, 2016b). Asimismo, se demostró la utilidad de los fertilizantes de liberación controlada y de realizar un precondicionamiento, con el fin de contribuir a mejorar la calidad de las plantas, previo a su establecimiento en campo (Prieto *et al.*, 2004a, 2004b).



Comprobación de supervivencia en campo

La gran mayoría de los estudios revisados emplean solo parámetros morfológicos como indicadores de calidad de planta. Lo anterior responde, posiblemente, a la dificultad para acceder a equipos e instrumentos costosos para realizar las pruebas fisiológicas, además que se necesita personal capacitado. O bien, se adolece de recursos financieros para cubrir los costos en los laboratorios que llevan a cabo esa clase de determinaciones.

Los indicadores fisiológicos no deben considerarse sin tomar en cuenta a los morfológicos, pues una planta puede tener una buena nutrición, pero si su sistema radical no está bien desarrollado, la probabilidad de sobrevivir en un ambiente con limitaciones de humedad es bajo (Rodríguez, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2015).

Únicamente en 29.5 % de los artículos revisados (Cuadro 3) se realizó una prueba de supervivencia, y dado que la definición de calidad de planta la involucra, es necesario que en los estudios subsecuentes se efectúen comprobaciones en campo, lo que les dará mayor robustez y rigor científico.



Cuadro 3. Estudios revisados sobre evaluación de supervivencia en campo.

Especie	TE	EI	Tratamientos	Resultados	Ref.
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i> (C.E.Blanco)Farjon	18	Sí	Envases 80 cm ³ y 170 cm ³ , riegos (cada 48, 96 y 168 h), sitios plantación contrastantes	Sitio de plantación significativo en supervivencia en crecimiento en A. S de 85.6 %	2
<i>P. arizonica</i> var. <i>cooperi</i> , <i>P. engelmannii</i> Carrière	13	Sí	Dos categorías de calidad (D y A)	La 1ª, S=67.5 % (D>6.5 mm), la 2ª sin diferencias. (S >90 %)	4
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	12	Sí	Podas raíz y tallo, riego	La poda de tallo estimuló crecimiento, pero no S	33
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	36	Sí	Efecto de poda química de raíz con Cu	Sin diferencias en crecimiento ni S (97.8 %)	16
<i>P. greggii</i> Engelm. ex Parl.	21	Sí	Procedencias/progenie (21 familias)	Diferencias entre familias, una con S=46 %	34
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	36	Sí	Fuego (S e incrementos), 2 calidades planta	Mayor S (48.8 %) en áreas no quemadas	35
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	6	Sí	4 tipos quemas prescritas, 2 calidades planta	>S en testigo y quema prescrita marzo	31
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	12	Sí	Plantas nodrizas y micrositios al plantar	No efecto en S. >N, P, K y crecimiento en A con <i>Lupinus</i>	36
<i>P. hartwegii</i> Lindl.	12	No	Capacidad de contenedor	S=96 % en contenedores de 5 L (retrasplante)	19
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schldl. & Cham.	6	Sí	Bloques espuma fenólica hidratada al plantar	S >70 % con espuma fenólica de 616 cm ³ y 462 cm ³	21
<i>P. montezumae</i> Lamb.	12	No	2 calidades, 3 sitios	La calidad alta (D > 6 mm) tuvo > S (83.82 %)	37
<i>P. montezumae</i> Lamb.	22	Sí	2 calidades, 2 altitudes, 2 exposiciones	La exposición N (S=88.6 %), superó a la sur (83.3 %)	38
<i>P. patula</i> Schiede ex Schldl. & Cham.	12	Sí	Tratamiento de quema y clase de A	S= 92 y 94 % en localidades quemada y no quemada.	39
<i>P. pringlei</i> Shaw	10	No	Inoculación hongos ectomicorrízicos	S=0 % sin inoculación. Planta inoculada con S 30-50 %	27
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	15	Sí	3 tipos de propagación, cárcavas	S=86 % con pinos inoculados con <i>Pisolithus tinctorius</i>	32
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	14	No	Producción, preacondicionamiento, sitio	S=52.9 %. Diferencias entre producción y sitios	40

TE = Tiempo de evaluación (meses); EI = Evaluación de incrementos en variables morfológicas. Ref. = Referencia; S = Supervivencia; D = Diámetro; A = Altura. Referencias: 33 (Cetina *et al.*, 2002), 34 (Díaz *et al.*, 2012), 35 (Ortíz y Rodríguez, 2008), 36 (Ramírez y Rodríguez, 2009), 37 (Bautista *et al.*, 2005), 38 (Robles *et al.*, 2017), 39 (Sosa y Rodríguez, 2003), 40 (Sigala *et al.*, 2015).

Conclusiones

La mayoría de las investigaciones usan parámetros morfológicos como indicadores de calidad, principalmente: altura y diámetro. No obstante, que este último es un buen indicador, usar parámetros fisiológicos permite entender mejor el funcionamiento de la planta tanto en vivero, como en el sitio de plantación.

Hay margen para indagar más en lo referente a los atributos fisiológicos, como las reservas de carbohidratos, fluorescencia de la clorofila y la pérdida de electrolitos en la determinación de calidad de planta. Además, se deben implementar más a menudo pruebas de desempeño como la dormancia de la yema para especies de ambientes fríos, la resistencia al estrés (por sequía o heladas) y la prueba de crecimiento potencial de raíz.

En el futuro, más investigaciones deben ser respaldadas con pruebas de supervivencia en campo, para dar mayor robustez y aplicabilidad a los resultados.

Son pocos los taxones de *Pinus* estudiados. Es importante profundizar en las investigaciones por realizar, pero también es necesario ampliar el abanico de especies, si se quiere incidir e incorporar en programas de restauración con taxones en riesgo y con otros de interés económico o ecológico.

Se deben incrementar los estudios sobre especies micorrízicas (fito y micobiontes), nivel de micorrización y su efecto en la calidad de planta.

Hace falta la estandarización de los nombres de los indicadores de calidad de planta en México y en el idioma español.

Existe recurrencia en los factores de estudio en vivero, como el tipo y tamaño de contenedor, sustrato usado, fertilización aplicada y precondicionamiento aplicado, entre otros. De manera general, se observó que el uso de contenedores de mayor capacidad resulta en un mejor desarrollo radical y de calidad de planta. El sustrato más utilizado en las diferentes investigaciones

es la turba de musgo; sin embargo, se apreció que en la mayoría de los sustratos alternativos arrojaron resultados similares o superiores a la turba. Se ha demostrado la utilidad de los fertilizantes de liberación controlada y de realizar un preacondicionamiento con el fin de contribuir a mejorar la calidad de las plantas, previo a su establecimiento en campo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Sebastián Escobar-Alonso: recopilación, organización y análisis de información; Dante Arturo Rodríguez-Trejo: conceptualización de la investigación, organización y análisis de información. Todos los autores participaron en la elaboración del manuscrito y aplicación de correcciones correspondientes.

Referencias

Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016a. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50(1): 107–118.

Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordáz C. 2016b. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34): 7–20. Doi:10.29298/rmcf.v7i34.79.

Aldrete, A., J. G. Mexal, R. Phillips and A. D. Vallotton. 2002. Copper coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. *Forest Ecology and Management* 163: 197–204. Doi:10.1016/S0378-1127(01)00579-5.

Arteaga M., B., S. León y C. Amador. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5(2): 9–15.

Ávila A., M. L., A. Aldrete, J. J. Vargas H., A. Gómez G., V. A. González H. and A. Velázquez M. 2017. Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(2): 221–229.

Doi:10.5154/r.rchscfa.2016.05.029.

Ávila F., I. J., J. A. Prieto R., J. C. Hernández D., C. A. Whehenkel y J. J. Corral R. 2014. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(3): 237–245. Doi:10.5154/r.rchscfa.2014.02.004.

Barajas R., J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas H. y J. López U. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5): 545–553.

Barragán S., J. L., J. Pérez M., J. J. Almaraz S., M. G. Carcaño M. and K. I. Medrano O. 2018. Inoculation with an edible ectomycorrhizal fungus and bacteria increases growth and improves the physiological quality of *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24(1): 3–16. Doi:10.5154/r.rchscfa.2017.01.010.

Bautista Z., N., V. M. Cetina A., J. A. Vera C. y C. T. Cervantes M. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb., producidos en el San Luis Tlaxialtemalco, Distrito Federal. Ra Ximhai. *Revista De Sociedad, Cultura, Desarrollo* 1(1): 167–176.

Bekele, M. 2011. Forest plantations and woodlots in Ethiopia. *In: African Forests Forum Working Paper Series*. Nairobi, Kenya. pp. 1–51.

Bernaola P., R. M., E. Pimienta B., P. Gutiérrez G. V. M. Ordáz C., G. A. Santiago y E. Salcedo P. 2015. Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble-trasplante. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(28): 174–187. Doi:10.29298/rmcf.v6i28.275.

Bernaola P., R. M., J. F. Zamora N., J. de J. Vargas R., V. M. Cetina A., R. Rodríguez M. y E. Salcedo P. 2016. 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. Doi:10.29298/rmcf.v7i33.91.

Broadhurst, L. M., T. A. Jones, F. S. Smith, T. North and L. Guja, 2015. Maximizing seed resources for restoration in an uncertain future. *BioScience* 66(1): 73–79. Doi:10.1093/biosci/biv155.

Buendía V., M. V., M. Á. López L., V. M. Cetina A. and L. Diakite. 2017. Substrates and nutrient addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery stage. *iForest Biogeosciences and Forestry* 10: 115–120. Doi:10.3832/ifor1982-009.

Burr, K. E., C. D. B. Hawkins, S. J. L'Hirondelle, W. D. Binder, M. F. George and T. Tapani. 2001. Methods for measuring cold hardiness of conifers. *In*: Bigras, F. J. and S. J. Colombo (eds.). *Conifer cold hardiness*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 369–401.

Castelán M., N. 2014. Fisiología de plántulas de *Pinus leiophylla* sometidas a estrés hídrico. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx., México. 67 p.

Cetina A., V. M., V. A. González H., M. L. Ortega D., J. Vargas H. y A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36(2): 233–241.

- Cetina A., V. M., M. L. Ortega D., V. A. González H., J. J. Vargas H., M. T. Colinas L. y A. Villegas M. 2001. Fotosíntesis y contenido de carbohidratos de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la poda y al régimen de riego en vivero. *Agrociencia* 35(6): 599–607.
- Challenger, A. y J. Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. *In*: Soberón, J., G. Halffter y J. Llorente B. (eds.) *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio. México, D.F., México. pp. 87-108.
- Chapa B., D., J. Sosa R. y A. de Alba Á. 2008. Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques* 14(1):37. Doi: 10.21829/myb.2008.1411216.
- Dexter, S. T., W. E. Tottingham and L. F. Graber. 1932. Investigations of the hardiness of plants by measurement of electrical conductivity. *Plant Physiology* 7: 63–78.
- Díaz L., C., E. Ramírez G. y H. Cruz J. 2012. Estrategia de conservación de *Pinus greggii* Engelm. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 14(1): 43–50.
- Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10–13.
- Dumroese, K., T. D. Landis, J. Pinto, D. Haase, K. Wilkinson and A. Davis. 2016. Meeting Forest Restoration Challenges: Using the Target Plant Concept. *Reforesta* 1: 37–52. Doi:10.21750/refor.1.03.3.
- Duryea, M. L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In*: Duryea, M. L. (ed.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Corvallis, OR, USA. pp. 1–4.

- García P., J. L., A. Aldrete, J. López U., J. J. Vargas H. y J. A. Prieto R. 2015. Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3): 297–304.
- Gernandt, D. S. y J. A. Pérez de La Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126–133. Doi:10.7550/rmb.32195.
- Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. *In*: Duryea, M. L. (ed.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Corvallis, OR, USA. pp. 107–123.
- Gómez R., M., J. Villegas, C. Sáenz R. y R. Lindig C. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrabus* en cárcavas. *Madera y Bosques* 19(3): 51–63. Doi:10.21829/myb.2013.193327.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests* 43(5–6): 711–738. doi:10.1007/s11056-012-9336-6.
- Grossnickle, S. C. and J. MacDonald. 2018. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. *Forests* 9: 283. Doi:10.3390/f9050283.
- Gutiérrez G., J. V., D. A. Rodríguez T., A. Villanueva M., S. García D. y J. L. Romo L. 2015. Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en vivero. *Agrociencia* 49(2): 205–219.
- Haase, D. L. 2007. Morphological and Physiological Evaluations of Seedling Quality. *In*: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (eds.). *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006*. Proceedings RMRS-P-50. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 3–8.

Hartmann, H. and S. Trumbore. 2016. Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees - from what we can measure to what we want to know. *The New Phytologist* 211(2): 386–403. Doi: 10.1111/nph.13955.

Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordáz C., J. López U. y M. A. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48(6): 627–637.

Jacobs, D. F. and T. D. Landis. 2009. Fertilization. *In*: Dumroese, R. K., T. Luna and T. D. Landis (eds.) *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management*. Agriculture Handbook 730. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 201–215.

Jacobs, D. F. and T. D. Landis. 2014. Plant nutrition and fertilization. *In*: Wilkinson, K. M., T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley and R. K. Dumroese (eds.). *Tropical nursery manual: a guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants*. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 232–251.

Landis, T. D. 1989. Mineral Nutrients and Fertilization. *In*: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.). *The Container Tree Nursery Manual* Agriculture Handbook 674. Vol. 4. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C., USA. pp. 1-67.

Landis, T. D. 2011. The Target Plant Concept - A History and Brief Overview. *In*: Riley, L. E., D. L. Hasse and J. R. Pinto (eds.). *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2010*. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 61-66.

Landis, T. D., R. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling Nutrition and Irrigation. *In*: Landis, T. D., R. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.) *The Container Tree Nursery Manual* Agriculture Handbook 674. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 119 p.

Li, Q., J. Chen, R. D. Caldwell and M. Deng. 2009. Cowpeat as a substitute for peat in container substrates for foliage plant propagation. *HortTechnology* 19(2): 340–345. Doi: 10.21273/HORTSCI.19.2.340.

López G., A., J. Pérez M., F. Hernández S., E. Uscanga M., A. García E., V. M. Cetina A., M. del R. Cardoso V. and B. Xoconostle C. 2018. Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences* 96(2): 286–304. Doi:10.17129/botsci.1239.

Marshall, J. D. 1985. Carbohydrate status as a measure of seedling quality. *In*: Duryea, M. L. (ed.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp 49-58.

Martínez N., L. E., H. Sarmiento L., J. Á. Sigala R., S. Rosales M. y J. B. Montoya A. 2015. Respuesta a la inoculación inducida de *Russula delica* Fr. en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33): 108–117. Doi:10.29298/rmcf.v7i33.93.

Martínez R., M., J. Pérez M., L. Villarreal R., R. Ferrera C., B. Xoconostle C., J. J. Vargas H. y M. Honrubia G. 2012. Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con el hongo comestible ectomicorrízico *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Qué. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(2): 183–192. Doi:10.5154/r.rchscfa.2010.11.112.

McKay, H. H. 1992. Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. *Canadian Journal of Forest Research* 22:1371–1377.

Mexal, J. and T. D. Landis. 1990. Target Seedling Concepts: Height and Diameter. *In*: Rose, R., S. J. Campbell and T. D. Landis (eds.). Target Seedling Symposium meeting of the western forest nursery associations. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp. 17-35.

Muñoz F., H. J., J. T. Sáenz R., V. M. Coria A., J. de J. García M., J. Hernández R. y G. E. Manzanilla Q. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 72–89. Doi:10.29298/rmcf.v6i27.282.

Oliet, J., R. Planelles, F. Artero, E. Martínez, L. Álvarez, R. Alejano y M. López. 2003. El potencial de crecimiento radical en planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. Influencia en la fertilización. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 12: 51–60.

Ortega B., V. y D. A. Rodríguez T. 2007. Supervivencia y crecimiento iniciales y concentración de nutrimentos de *Pinus hartwegii* plantado en localidades quemadas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2): 115–124.

Ortega M., A., L. Mendizábal H., J. Alba L. y A. Aparicio R. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(2): 29–34.

Ortíz R., J. N. y D. A. Rodríguez T. 2008. Incremento en biomasa y supervivencia de una plantación de *Pinus hartwegii* Lindl. en áreas quemadas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 89–95. Doi:10.4270/ruc.2010216.

Ortíz M., A., A. Moreno L. y D. Piñero. 2008. Fragmentación y expansión demográfica en las poblaciones mexicanas de *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite*. *Boletín de La Sociedad Botánica de México* 83: 25–36.

Otavo, S. and C. Echeverría. 2017. Progressive fragmentation and loss of natural forests habitat in one of the global biodiversity hotspots. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(4): 924–935. Doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.041.

Palacios R., A., R. Rodríguez L., F. Prieto G., J. Meza R., R. Razo Z. y M. de la L. Hernández F. 2015. Supervivencia de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. en campo mediante la aplicación de espuma fenólica hidratada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(32): 83–92. Doi:10.29298/rmcf.v6i32.100.

Palacios R., A., R. Rodríguez L., R. Razo Z., J. Meza R., F. Prieto G. and M. de la L. Hernández F. 2017. Survival of plants of *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. y Cham., by adding water reservoirs at transplanting in a greenhouse. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(1): 35–45. Doi:10.5154/r.rchscfa.2015.10.046.

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

Pineda O., T., V. M. Cetina A., J. A. Vera C., C. T. Cervantes M. y A. Khalil G. 2004. El trasplante contenedor-contenedor (1+1) y contenedor-raíz (P+1) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 38(6): 679–686.

Prieto R., J. Á., R. J. Almaraz R., J. J. Corral R. y A. Díaz V. 2012. Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su precondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(12): 19–28. Doi:10.29298/rmcf.v3i12.505.

Prieto R., J. Á., E. H. Cornejo O., P. A. Domínguez C., J. de J. Nívar C., J. G. Marmolejo M. y J. Jiménez P. 2004a. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(3): 443–451.

Prieto R., J. Á., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O. y J. de J. Návar C. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Maderas y Bosques* 13(1): 79–97.

Prieto R., J. Á., P. A. Domínguez C., J. de J. Návar C. y E. H. Cornejo O. 2004b. Factores que influyen en la producción de *Pinus cooperi* en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10(1): 63–70.

Prieto R., J. Á., A. Duarte S., J. R. Goche T., M. M. González O. y M. Á. Pulgarín G. 2018. Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 151–168. Doi:10.29298/rmcf.v9i47.182.

Prieto R., J. Á., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. pp. 6-8.

Ramírez C., A. y D. A. Rodríguez T. 2009. Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 43–48.

Ramírez C., Y. y D. A. Rodríguez T. 2010. Resistencia a bajas temperaturas en *Pinus hartwegii* sometido a diferentes tratamientos con potasio. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(1): 79–85. Doi:10.5154/r.rchscfa.2009.09.032.

Rentería C., M. C., J. Pérez M., V. M. Cetina A., R. Ferrera C. y B. Xoconostle C. 2017. Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrícicos en dos sustratos. *Revista Argentina de Microbiología* 49(1): 93–104. Doi:10.1016/j.ram.2016.06.004.

- Reyes R., J., A. Aldrete, V. M. Cetina A. y J. López U. 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. 1984. Assessing Seedling Quality. *In*: Duryea, M. L. and T. D. Landis (eds.) Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, Boston, Lancaster for Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 243–259.
- Ritchie, G. A. and T. D. Landis. 2003. Seedling quality tests: root growth potential. Forest Nursery Notes, Summer 2003. USDA Forest Service. Portland, OR, USA. pp. 8-10.
- Ritchie, G., T. Landis, K. Dumroese and D. Haase. 2010. Assessing plant quality. *In*: Landis, T., K. Dumroese and D. Haase (eds.). The Container Tree Nursery Manual Agriculture Handbook 674 (vol 7). Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, USA. 200p.
- Robles V., F., D. A. Rodríguez T. y A. Villanueva M. 2017. Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 8(42): 55–76. Doi:10.29298/rmcf.v8i42.19.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. México, D.F., México. 156 p.
- Rodríguez T., D. A., M. L. Duryea y T. L. White. 2002. Fertilización nitrogenada y concentración de carbohidratos en plántulas de *Pinus palustris* Mill. producidas a raíz desnuda. Agrociencia 36(6): 683–691.
- Roller, K. J. 1977. Suggested Minimum Standards for Containerised Seedlings in Nova Scotia. Department of Fisheries and Environment Canada, Canadian Forestry Service. Information Report M-X-69. Fredericton, New Brunswick, Canada. p 18.

- Romero A., O., R. López E., M. Á. Damián H., I. Hernández T., J. F. Parraguirre L. y M. Huerta L. 2012. Evaluación del residuo de cáscara de nuez (*Juglans regia* L.) en la producción de plántulas de *Pinus patula*, en vivero. *Agronomía Costarricense* 36(2): 103–110.
- Rosales M., S., J. Á. Prieto R., J. L. García R., R. E. Madrid A. y J. Á. Sigala R. 2015. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. bajo diferentes condiciones ambientales en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 64–71. Doi:10.29298/rmcf.v6i27.281.
- Rueda S., A., J. de D. Benavides S., J. Á. Prieto R., J. T. Sáenz R., G. Orozco G. y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 69–82. Doi:10.29298/rmcf.v3i14.475.
- Rueda S., A., J. de D. Benavides S., J. T. Sáenz R., H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto R. y G. Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58–73. Doi:10.29298/rmcf.v5i22.350.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., C. M. Á. 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. Doi:10.29298/rmcf.v5i26.293.
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto R. y A. Rueda S. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 19 p.
- Sánchez A., H., A. Aldrete, J. Vargas H. y V. M. Ordáz C. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50(4): 481–492.

Sánchez G., A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1): 107–120.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010. México, D.F., México. 65 p.

Sigala R., J. Á., M. A. González T. y J. Á. Prieto R. 2015. Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(30): 20–31. Doi: 10.29298/rmcf.v6i30.205.

Simpson, D. G. and G. A. Ritchie. 1997. Does RGP predict field performance? A debate. *New Forests* 13(1–3): 253–277. Doi: 10.1023/A:1006542526433.

Sosa P., G. y D. A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 34–43.

South, D. B., J. N. Boyer and L. Bosch. 1985. Survival and growth of loblolly pine as influenced by seedling grade: 13-year results. *Southern Journal of Applied Forestry* 9(2): 76–81. Doi:10.1093/sjaf/9.2.76.

Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking? *In*: Duryea, M. L. (ed.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Oregon State University. Corvallis, OR, USA. pp. 59–71.

Tuttle, C. L., D. B. South, M. S. Golden and R. S. Meldahl. 1988. Initial *Pinus taeda* seedling height relationships with early survival and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 18(7): 867–871. Doi:10.1139/x88-133.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2001. The IUCN red list categories and criteria: Version 3.1. <https://www.iucnredlist.org/> (1 de junio de 2019).

Vidaver, W., P. Toivonen, G. Lister, R. Brooke and W. Binder. 1988. Variable chlorophyll-A fluorescence and its potential use in tree seedling production and forest regeneration. *In*: Landis, T. D. (ed.). Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Gen. Tech. Rep. RM-167. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Fort Collins, CO: USA pp. 127–132.

Viveros V., H., C. Sáenz R., J. López U. and J. J. Vargas H. 2007. Growth and frost damage variation among *Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae* and *P. hartwegii* tested in Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* (1–3): 81–88. Doi:10.1016/j.foreco.2007.07.005.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.