

Calidad morfológica de plántulas de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* bajo fertirriego

Morphological quality of seedlings of *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* under fertigation

María Mercedes Cervantes-Machuca¹ , Gerardo Rodríguez-Ortiz¹ , Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez^{1*} , José Raymundo Enríquez-Del Valle¹ , Daniel Martínez Santiago² 

¹Tecnológico Nacional de México, TecNM-IT del Valle de Oaxaca. Carretera al ITAO S/N, Ex-Hacienda de Nazareno, CP. 71233, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²Tecnológico Nacional de México, TecNM-IT Superior de San Miguel el Grande. CP. 71140. San Miguel el Grande Tlaxiaco, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: marcos.rv@voaxaca.tecnm.mx

Artículo científico

Recibido: 01 de junio 2025

Aceptado: 05 de noviembre 2025

RESUMEN. Dentro de la producción de planta en vivero, su calidad es el principal factor que influye en el éxito de los programas de reforestación y plantaciones forestales. El objetivo fue evaluar, en condiciones de vivero, la calidad morfológica de plántulas de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *Oaxacana* producidas con diferentes concentraciones de fertirriego. Se realizó el trasplante de 120 plántulas por especie en bolsas de polietileno de 25×35 cm y 120 plántulas en tubete por especie. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 6×2×2 (24 tratamientos con 20 repeticiones); a los dos meses de edad se fertirrigaron con la solución universal de Steiner al 20, 40, 60, 80 y 100%. Cada 30 días se midió: altura (cm) y diámetro al cuello de la raíz (mm) y se realizó muestreo destructivo a dos plantas durante cuatro meses para determinar el índice de esbeltez (IE), relación altura/longitud de raíz (ALR), relación biomasa aérea/biomasa raíz (RBIO) y el índice de Dickson (ICD). *P. patula* presentó un aumento en área foliar de 2.73 cm² de tres a seis meses; por otro lado, para *P. pseudostrobus* fue de 2.24 cm². Al utilizar un contenedor más amplio se incrementó un 4.02 cm² en área foliar y se destacó el fertirriego al 60, 40 y 20% con indicadores de calidad media y alta. La fertilización y el volumen del contenedor determinan la proporción óptima entre la biomasa aérea y la biomasa radicular de la planta.

Palabras clave: Crecimiento, Incremento, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, solución Steiner.

ABSTRACT. Within nursery plant reproduction, quality is the main factor that influences the success of reforestation and forest plantations programs. The objective was to evaluate, under nursery conditions, the morphological quality of *Pinus patula* var. *longepedunculata* and *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* seedlings produced with different concentrations of fertigation. The was carried transplant of 120 seedlings per species out in 25×35 cm polyethylene bags and 120 seedlings in tubes per species. A completely randomized design with a 6×2×2 factorial arrangement was used (24 treatments with 20 repetitions); at two months of age they were fertigated with Steiner's universal solution at 20, 40, 60, 80 and 100%. Every 30 days they were measured: height (cm) and diameter at the root collar (mm) and destructive sampling was carried out on two plants for four months to determine the slenderness index (IE), height/root length ratio (ALR), aboveground biomass/root biomass ratio (RBIO) and the Dickson Index (ICD). *P. patula* presented an increase in leaf area of 2.73 cm² from three to six months; on the other hand, for *P. pseudostrobus* it was 2.24 cm². By using a larger container, leaf area increased by 4.02 cm² and fertigation stood out at 60, 40 and 20% with medium and high quality indicators. Fertilization and container volume determine the optimal ratio between aboveground biomass and root biomass of the plant.

Keywords: Growth, increase, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, Steiner solution.

INTRODUCCIÓN

En México se han impulsado programas de reforestación a gran escala (García-Pérez *et al.* 2015), pese a ello la producción de planta para reforestación a nivel nacional solo se estima de 1 045 310 plantas para el año 2023 (CONAFOR 2024). Por otro lado, la supervivencia promedio en campo en el periodo 2004-2005 fue del 57% (Prieto *et al.* 2018). En el establecimiento y crecimiento inicial de plantaciones forestales el principal factor que influye es la calidad de planta utilizada (Rueda-Sánchez *et al.* 2014); es decir, para que los programas de reforestación tengan éxito se debe asegurar la calidad de la planta a utilizar con el objetivo de aumentar su supervivencia y desarrollo (Sáenz *et al.* 2014).

La calidad de planta se define por las características morfológicas (altura, diámetro basal del tallo, tamaño, forma y volumen del sistema radical, relación altura/diámetro del tallo, relación tallo/raíz, presencia de yema terminal, color de follaje, sanidad, peso seco de tallos, follaje y raíz) (Birchler *et al.* 1998, Ureta *et al.* 2018) y fisiológicas con las que se produce y que puede llegar a adaptarse en el sitio de plantación (Prieto *et al.* 2018, Sáenz-Reyes *et al.* 2019). Sin embargo, su adaptación también tiene implicaciones en el origen genético de la semilla (Burney *et al.* 2015). Para producir planta de calidad con características morfológicas y fisiológicas que le ayuden a sobrevivir en campo es necesario el uso de prácticas culturales en vivero (Luna 2019), entre los que se encuentra el sustrato, contenedor, calidad de semillas, la fertilización, riego, control de malezas, plagas y enfermedades (Sáenz-Reyes *et al.* 2019).

La calidad de planta se puede determinar por la relación entre la altura (cm) y el diámetro al cuello de la raíz (mm) (índice de esbeltez), e indica la resistencia de la planta a vientos, su desarrollo y crecimiento en sitios secos (Rueda-Sánchez *et al.* 2014). La relación altura del tallo/longitud de la raíz principal, predice el éxito de la plantación, en el cual debe existir equilibrio en la parte aérea y sistema radicular (Paz-Paz *et al.* 2023). Mientras que la relación peso seco de la parte aérea/peso seco del sistema radicular (Rueda-Sánchez *et al.* 2014), indica el desarrollo de la planta en vivero, y debe existir equilibrio en biomasa tanto aérea como subterránea y el índice de calidad de Dickson, que permite evaluar las diferencias morfológicas entre plantas, expresa el equilibrio entre masa y robustez (Ureta *et al.* 2018).

Bajo este enfoque, la fertilización es una actividad importante en la producción de plantas forestales; sin embargo, es necesario definir las concentraciones óptimas para cada especie. Al respecto, Martínez-Nevárez *et al.* (2023) determinaron para *Pinus cooperi* C. E. un crecimiento mayor en características morfológicas de las plantas al utilizar fertilizante de liberación controlada (18-6-12 de N, P y K) a una concentración de 6 gL⁻¹. También Paz-Paz *et al.* (2023) al evaluar la calidad de planta en vivero durante nueve meses, recomiendan fertilización alta para *Pinus patula* y *Pinus oaxacana* para obtener plantas de calidades medias y altas. Debido a lo anterior, el objetivo fue evaluar, en condiciones de vivero, la calidad morfológica de plántulas de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *Oaxacana* producidas con diferentes concentraciones de fertirriego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó con plántulas obtenidas de semillas de árboles superiores de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* recolectadas por la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca y procedentes de localidades de la Sierra Norte y Sur de Oaxaca, México en un rango altitudinal de 1 500 a 3 000 m. La propagación de plántulas se realizó en junio del 2022 en el invernadero de aclimatación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, en el Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. La siembra se realizó en charolas de 49 cavidades de 143 cm³ previamente desinfectadas, con una mezcla de tierra de monte, vermiculita®, agrolita® y turba con una proporción 4:1:1:2; previo la siembra, la semilla se desinfectó con el fungicida captan (3 g L⁻¹) con una inmersión de 5 minutos.

Un mes después de la siembra y utilizando la misma proporción de sustrato, se realizó el trasplante de 120 plántulas de *P. patula* y 120 de *P. pseudostrobus* en bolsas de polietileno de 25×35 cm, además de, la selección de 120 plántulas por cada especie en tubete de 115 cm³.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 6x2x2 con un total de 24 tratamientos con 20 repeticiones; en donde el factor fertirriego: testigo+5 dosis de fertirriego (20, 40, 60, 80 y 100%), factor especie: 2 (*P. patula* y *P. pseudostrobus*) y factor contenedor: 2 (bolsa y tubete) y como unidad experimental 20 plántulas.

Cuando las plántulas tenían dos meses de edad se inició el fertirriego a nivel de sustrato con una dosis de 500 mL para bolsa y 250 mL para tubete por planta de la solución universal de Steiner (Nitrato de calcio Ca(NO₃)₂; Nitrato de potasio KNO₃; Sulfato de potasio K₂SO₄; Sulfato de magnesio MgSO₄; Fosfato de monopotásico KH₂PO₄; Hidroxido de potasio KOH; Quelatos y micronutrientes) con disoluciones del: 20, 40, 60 80 y 100%, a las que se ajustó el pH a 5.5 con el objetivo de optimizar la solubilidad y disponibilidad de los nutrientes (reducir la precipitación y formación de sales poco solubles) (Pérez-Santiago *et al.* 2014); el fertirriego fue de forma manual y se aplicó por las mañanas tres veces por semana.

Variables evaluadas y obtención de índices de calidad de planta

A cada plántula se le realizó mediciones cada 30 días, como es la altura total (cm) con la ayuda de una regla graduada y diámetro al cuello de la raíz (mm) con un vernier digital marca HONGHCL® con precisión de ± 0.2 mm. El muestreo destructivo y la toma de datos se realizó de los tres a los siete meses de edad de las plántulas cada 30 días; de forma aleatoria se utilizaron dos plántulas en cada muestreo con un total de ocho plántulas por tratamiento a los siete meses de edad; las variables evaluadas por planta fueron: longitud de tallo (cm) y longitud de raíz (cm) obtenidas con una regla graduada, diámetro al cuello de la raíz (mm) con la ayuda de un vernier digital HONGHCL® con precisión ± 0.2 mm; posterior, se obtuvo el peso fresco de cada compartimento (raíz, tallo y hoja) con la ayuda de una balanza analítica marca Shimadzu modelo ATY224 con precisión de ± 0.1 mg y se escaneo el tallo y las hojas de cada plántula para determinar el área foliar (AF; cm²) con el programa IMAGEJ®; la biomasa (g) en seco de raíz, tallo y hoja, se obtuvo al

deshidratar las plántulas a 70 °C hasta obtener el peso constante en una estufa de secado marca Memmert modelo 100-800.

Con las variables obtenidas se determinaron los siguientes índices de calidad de planta (Touhami *et al.* 2017): índice de esbeltez (IE), que relaciona la altura de la planta (H; cm) con el diámetro cuello de raíz (DC; mm) (Rueda-Sánchez *et al.* 2014). Relación altura/longitud de raíz (ALR), esta relación predice el éxito de la plantación, especificando el equilibrio entre la parte aérea y el sistema radical de la planta. Relación biomasa seca aérea (g) y biomasa seca raíz (g) (RBIO), refleja el desarrollo de la planta en vivero (Paz-Paz *et al.* 2023) y el índice de Dickson (ICD), que abarca varios atributos morfológicos en un solo valor (Kuan-Hung *et al.* 2019), especificando valores mayores a > 0.5 reflejan una mejor calidad de planta, siendo $ICD = \frac{\text{biomasa seca total de la planta (g) (BT)}}{(\text{altura (cm)}/\text{diámetro (mm)} + (\text{biomasa seca parte área (g)}/\text{biomasa seca raíz (g)})}$.

Manejo y análisis de datos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el paquete SAS 9.4, verificando los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$), respectivamente; algunas variables se transformaron con la función $\text{sen}(x)$. Se realizó el análisis de varianza, prueba de medias (Tukey, 0.05) y el modelo lineal con efecto anidado con la ecuación $y_{ijkl} = \mu + F_i + S_j + E_k + (FS_{ij}) + (FE_{ik}) + (SE_{kj}) + (FSE_{ijk}) + \varepsilon_{ijkl}$ donde Y_{ijkl} = valor de la variable dependiente, μ = media poblacional, F_i = dosis de fertirriego, S_j = especie, E_k = envasado, ε_{ijkl} = error experimental y un análisis de contrastes ortogonales.

RESULTADOS

Los resultados indican que se encontraron diferencias significativas en las especies ($P \leq 0.05$) para la relación altura/longitud de raíz a los tres meses de edad, índice de calidad de esbeltez e índice de calidad de Dickson a los seis meses de edad; para el tipo de contenedor se encontró diferencias significativas en área foliar, índice de esbeltez, índice de calidad de Dickson y la relación altura/longitud de raíz para los seis meses de edad (Tabla 1). Datos relevantes en el análisis de varianza fue la inexistencia de diferencias significativas ($P > 0.05$) en dosis (con excepción de la relación biomasa aérea/biomasa raíz), y entre especie dentro de dosis (especie anidado con dosis), dosis dentro de contenedor (dosis anidado con el tipo de contenedor) y especie dentro de dosis y contenedor (especie anidado con dosis y contenedor), para el área foliar se mostró que dentro de las especies para cada contenedor y porcentaje de dosis presentaron un comportamiento uniforme. Por otro lado, las plántulas se diferenciaron dentro del tipo de contenedor ($P \leq 0.05$), teniendo el mayor error experimental el índice de esbeltez a los tres meses de edad.

Las medias muestrales por tratamiento para las variables de *P. patula* presentó mayor aumento en área foliar (2.73 cm²) de los tres a los seis meses en comparación de *P. pseudostrobus* con 2.24 cm²; por otro lado, la utilización de bolsa como contenedor más amplio mostro mayor incremento en área foliar a los seis meses (4.02 cm²) muy por arriba de las plantas en tubete quienes alcanzaron 2.75 cm² a los seis meses de edad. Las diferentes dosis de fertirriego a los tres meses mostraron un comportamiento homogéneo destacando el riego al 40% con 2.12 cm² con respecto al 20% (1.84 cm²);

sin embargo, este último (20%) fue quien presentó mayor área foliar a los seis meses (5.97 cm²) teniendo un incremento de 4.13 cm² (Tabla 2).

Tabla 1. Indicadores de calidad para especie, dosis de fertirriego, tipo de contenedor y sus interacciones.

	SP	Dosis	Cont	SP (Cont)	SP (Cont)	Dosis (Cont)	SP(Dosis) (Cont)	Error	Total
G. L.	1	5	1	5	1	5	5	24	47
AF3	0.08 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.1	
RBIO3	1.12 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.65 ^{ns}	3.09*	0.30 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.42	
IE3	0.57 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.67 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.53	
ICD3	1.13 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.64 ^{ns}	3.14*	0.30 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.42	
ALR3	0.15**	0.01 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.07*	0.006 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01	
AF6	1.22 ^{ns}	0.35 ^{ns}	3.92**	0.22 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.31 ^{ns}	1.06*	0.32	
RBIO6	1.15 ^{ns}	1.16*	0.001 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.42	
IE6	5.90**	0.33 ^{ns}	2.90*	0.96 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.41	
ICD6	2.73**	0.05 ^{ns}	1.10*	0.22 ^{ns}	0.76*	0.26 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.18	
ALR6	0.0002 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.17*	0.01 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02	

SP: especie, Cont: contenedor, G.L.: Grados de libertad, AF: área foliar, RBIO: relación biomasa aérea/biomasa radical, IE: índice de esbeltez, ICD: índice de calidad de Dickson, ALR: relación altura total/longitud de raíz, ³: plantas a tres meses de edad, ⁶: plantas a seis meses de edad, ^{ns}: no significativo, *: significativo, **: altamente significativo.

Tabla 2. Indicadores de calidad de plántulas de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrubus* en bolsa y tubete a diferentes dosis de fertirriego en vivero.

	Especie		Contenedor		Dosis (%)					
	<i>P. pseudostrubus</i>	<i>P. patula</i>	Bolsa	Tubete	Control	20	40	60	80	100
AF ³	1.96 ± 0.14 ^a	1.80 ± 0.10 ^a	1.96 ± 0.15 ^a	0.81 ± 0.90 ^a	1.86 ± 0.15 ^a	1.84 ± 0.19 ^a	2.12 ± 0.20 ^a	1.99 ± 0.33 ^a	1.61 ± 0.20 ^a	1.87 ± 0.18 ^a
RBIO ³	3.44 ± 0.27 ^a	2.75 ± 0.21 ^a	3.30 ± 0.28 ^a	2.99 ± 0.22 ^a	3.28 ± 0.37 ^a	2.55 ± 0.26 ^a	2.84 ± 0.38 ^a	3.02 ± 0.52 ^a	3.26 ± 0.52 ^a	3.64 ± 0.53 ^a
IE ³	8.24 ± 0.46 ^b	12.36 ± 0.44 ^a	10.25 ± 0.50 ^a	10.35 ± 0.72 ^a	9.94 ± 1.32 ^{ab}	10.34 ± 0.81 ^{ab}	8.92 ± 0.95 ^b	9.48 ± 0.59 ^b	10.62 ± 1.12 ^{ab}	12.50 ± 1.27 ^a
ICD ³	3.45 ± 0.27 ^a	2.76 ± 0.21 ^a	3.21 ± 0.28 ^a	3.0 ± 0.22 ^a	3.29 ± 0.37 ^a	2.56 ± 0.26 ^a	2.85 ± 0.38 ^a	3.03 ± 0.52 ^a	3.27 ± 0.52 ^a	3.64 ± 0.53 ^a
ALR ³	0.42 ± 0.03 ^b	0.55 ± 0.02 ^a	0.49 ± 0.04 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	0.49 ± 0.05 ^a	0.44 ± 0.05 ^a	0.42 ± 0.05 ^a	0.55 ± 0.05 ^a	0.50 ± 0.05 ^a	0.50 ± 0.06 ^a
AF ⁶	4.20 ± 0.73 ^a	4.53 ± 0.57 ^a	5.98 ± 0.76 ^a	2.75 ± 0.24 ^b	2.75 ± 0.48 ^b	5.97 ± 1.31 ^a	5.41 ± 1.53 ^{ab}	4.07 ± 0.98 ^{ab}	5.16 ± 1.3 ^{ab}	2.83 ± 0.57 ^b
RBIO ⁶	2.70 ± 0.17 ^a	1.94 ± 0.12 ^b	2.43 ± 0.22 ^a	2.21 ± 0.10 ^a	2.21 ± 0.27 ^a	2.25 ± 0.19 ^a	2.29 ± 0.21 ^a	2.3 ± 0.38 ^a	2.48 ± 0.46 ^a	2.4 ± 0.24 ^a
IE ⁶	5.87 ± 0.26 ^b	7.92 ± 0.31 ^a	6.94 ± 0.43 ^a	6.84 ± 0.26 ^a	5.98 ± 0.47 ^a	7.06 ± 0.68 ^a	6.49 ± 0.64 ^a	6.69 ± 0.62 ^a	6.9 ± 0.48 ^a	7.95 ± 0.72 ^a
ICD ⁶	2.77 ± 0.18 ^a	1.98 ± 0.12 ^b	2.51 ± 0.22 ^a	2.24 ± 0.10 ^a	2.24 ± 0.27 ^a	2.32 ± 0.21 ^a	2.39 ± 0.22 ^a	2.34 ± 0.37 ^a	2.54 ± 0.48 ^a	2.42 ± 0.25 ^a
ALR ⁶	0.49 ± 0.03 ^a	0.50 ± 0.03 ^a	0.43 ± 0.04 ^b	0.56 ± 0.02 ^a	0.48 ± 0.09 ^a	0.46 ± 0.05 ^a	0.53 ± 0.05 ^a	0.51 ± 0.06 ^a	0.48 ± 0.06 ^a	0.51 ± 0.06 ^a

AF: área foliar, RBIO: relación biomasa aérea/biomasa radical, IE: índice de esbeltez, ICD: índice de calidad de Dickson, ALR: relación altura total/longitud de raíz, ³: plantas a tres meses de edad, ⁶: plantas a seis meses de edad. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Tukey 0.05). La media se incluye ± el error estándar.

La relación biomasa aérea/biomasa raíz a los tres meses de edad mostró una calidad media solo a las plántulas con 20% de fertirriego, por otro lado, a la edad de seis meses, esta calidad de planta fue alta para especie, contenedor y dosis de fertirriego. A la edad de tres meses las plántulas presentaron calidad baja para el índice de esbeltez; sin embargo, a los seis meses *P. pseudostrubus* y el testigo (plantas sin fertirriego) mostraron calidad alta con 5.87 y 5.98 respectivamente siendo calidad media los demás factores; el índice de calidad de Dickson entre especie, contenedor y

diferentes dosis de fertirriego mostraron calidad alta de planta para los tres y seis meses de edad. La relación altura/longitud de raíz a los tres meses mostró mejor relación para *Pinus pseudostrobus* (0.42) y con 40% de fertirriego (0.42), por otro lado, a los seis meses fue el 20% de fertirriego (0.46) y la utilización de bolsa (0.43) quienes mostraron un balance en cuanto a la altura del tallo con relación a la longitud de la raíz.

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre especie (relación biomasa aérea/biomasa radical, índice de esbeltez, índice de calidad de Dickson y relación altura/longitud de raíz), dosis (peso seco total e índice de esbeltez) y contenedor (peso seco total y área foliar) (Tabla 3). Datos relevantes del análisis de varianza son que las interacciones no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) (en todas las variables con excepción del peso seco total); por el contrario, la relación altura/longitud de la raíz por especie se diferenció dentro del tipo de contenedor ($P \leq 0.05$), teniendo el mayor error experimental el área foliar (0.21).

Tabla 3. Incremento corriente anual en indicadores de calidad de planta para especie, dosis, contenedor y sus interacciones.

	Especie	Dosis	Contenedor	Especie (Dosis)	Especie (Contenedor)	Dosis (Contenedor)	Especie (Dosis) (Contenedor)	Error	Total
G.L.	1	5	1	5	1	5	5	24	47
PST	0.005 ^{ns}	0.09**	1.92**	0.12**	0.006 ^{ns}	0.08**	0.11**	0.01	
AF	0.02 ^{ns}	0.34 ^{ns}	1.23*	0.17 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.21	
RBIO	0.10*	0.006 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.02	
IE	4.60**	0.27**	0.01 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.07	
ICD	0.11*	0.004 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.02	
ALR	0.004**	0.0006 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.003**	0.0001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0003	

PST: Peso seco total, AF: área foliar, RBIO: relación biomasa aérea/biomasa radical, IE: índice de esbeltez, ICD: índice de calidad de Dickson, ALR: relación altura total/longitud de raíz. ^{ns}: no significativo, *: significativo, **: altamente significativo.

Entre especie se encontró mayor peso seco total para *P. patula* (0.34 g), de igual forma las plántulas establecidas en bolsas obtuvieron en promedio un incremento del 0.56 g en comparación a las establecidas en tubete con 0.06 g, un incremento similar a las plántulas regadas con solución nutritiva al 80% (0.46 g) (Tabla 4). De igual forma, utilizando fertirriego al 80% y establecidas en bolsa presentaron mayor incremento en área foliar (3.14 cm² y 3.48 cm²), por otro lado, *P. pseudostrobus* fue quien presentó mayor incremento en área foliar con 2.39 cm²; la relación biomasa aérea/biomasa de raíz fue similar en cuanto a tipo de contenedor (bolsa-tubete) con incrementos de 0.49 vs 0.46, sin embargo, el fertirriego al 100% obtuvo mayor incremento (0.52) en esta relación. El índice de calidad de Dickson para *Pinus pseudostrobus* fue estadísticamente mayor, mientras que las diferencias entre dosis y contenedores (salvo casos puntuales) fueron no significativas; dosis intermedias-altas (40-100%) muestran mayor ICD, por lo tanto, *Pinus pseudostrobus* respondió mejor al fertirriego.

La relación entre la altura y el diámetro (índice de esbeltez) mostró para todos los factores plántulas de calidad alta, con un incremento similar a los siete meses de edad (Figura 1); sin embargo, para las dos especies presentó un incremento mayor *P. patula* (1.85) (Figura 2). El índice de calidad de Dickson para los factores presentó plántulas de calidad media, con excepción *P. pseudostrobus* con

incremento de 0.54 entre especie y fertirriego al 100% con 0.52 quienes presentaron plántulas de calidad alta. La relación altura/longitud de raíz entre especie, dosis y tipo de contenedor presentó plántulas de calidad alta; a pesar de esto, *P. patula* (0.09) y el fertirriego al 60% (0.09) y 80% (0.09) obtuvieron mayor incremento en esta relación.

Tabla 4. Incremento corriente anual para indicadores de calidad de plántulas de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrubus* en bolsa y tubete a diferentes dosis de fertirriego en vivero.

	Especie		Dosis (%)					Contenedor		
	<i>P. Patula</i>	<i>P. pseudostrubus</i>	Control	20	40	60	80	100	Bolsa	Tubete
PST	0.34 ± 0.07 ^a	0.28 ± 0.09 ^a	0.10 ± 0.03 ^c	0.28 ± 0.09 ^{abc}	0.45 ± 0.23 ^a	0.41 ± 0.19 ^{ab}	0.46 ± 0.16 ^a	0.17 ± 0.06 ^{bc}	0.56 ± 0.09 ^a	0.06 ± 0.002 ^b
AF	1.97 ± 0.42 ^a	2.39 ± 0.50 ^a	0.85 ± 0.15 ^c	1.91 ± 0.43 ^{bc}	2.83 ± 1.16 ^{ab}	2.91 ± 1.07 ^{ab}	3.14 ± 0.86 ^a	1.47 ± 0.47 ^c	3.48 ± 0.53 ^a	0.89 ± 0.03 ^b
RBIO	0.42 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.03 ^a	0.46 ± 0.05 ^a	0.49 ± 0.06 ^a	0.42 ± 0.05 ^a	0.46 ± 0.06 ^a	0.48 ± 0.06 ^a	0.52 ± 0.07 ^a	0.49 ± 0.04 ^a	0.46 ± 0.02 ^a
ICD	0.42 ± 0.02 ^b	0.54 ± 0.03 ^a	0.47 ± 0.05 ^a	0.50 ± 0.06 ^a	0.44 ± 0.04 ^a	0.47 ± 0.06 ^a	0.49 ± 0.06 ^a	0.52 ± 0.07 ^a	0.50 ± 0.04 ^a	0.46 ± 0.02 ^a
ALR	0.09 ± 0.003 ^a	0.07 ± 0.004 ^b	0.07 ± 0.007 ^a	0.07 ± 0.007 ^a	0.07 ± 0.007 ^a	0.09 ± 0.008 ^a	0.09 ± 0.006 ^a	0.08 ± 0.008 ^a	0.08 ± 0.005 ^a	0.08 ± 0.003 ^a

PST: peso seco total, AF: área foliar, RBIO: relación biomasa aérea/biomasa radical, IE: índice de esbeltez, ICD: índice de calidad de Dickson, ALR: relación altura total/longitud de raíz. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Tukey 0.05). Media ± error estándar.

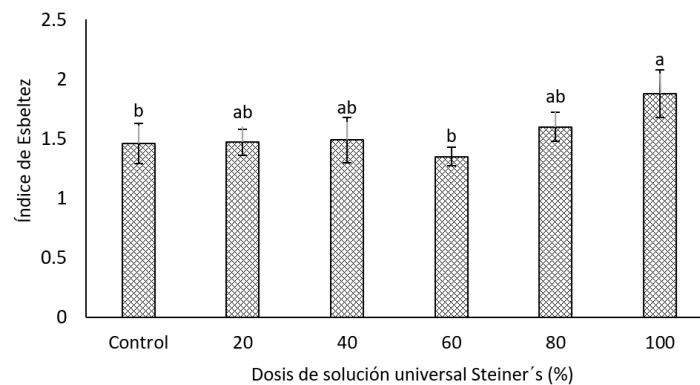


Figura 1. Incremento periódico para Índice de Esbeltez a diferentes dosis de fertirriego en vivero. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Líneas verticales sobre columnas representan error estándar.

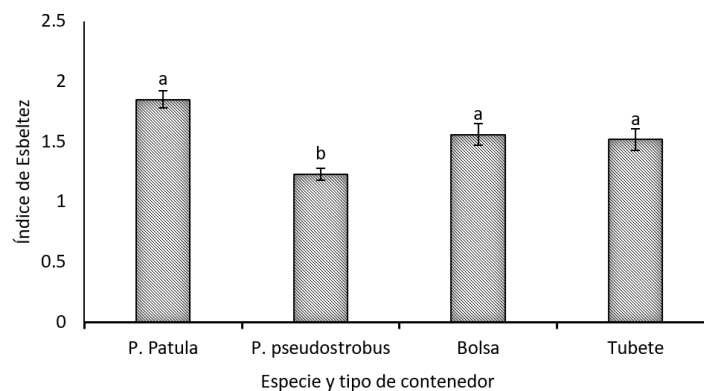


Figura 2. Incremento periódico para Índice de Esbeltez por especie y tipo de contenedor. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Líneas verticales sobre columnas representan error estándar.

DISCUSIÓN

El análisis de varianza evidenció diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables diámetro al cuello y altura total, excepto en el efecto de la interacción especie con tipo de envasado; similar por lo reportado por Bernaola-Paucar *et al.* (2016) quienes no encontraron diferencias en altura con efecto del volumen del contenedor en *Pinus douglasiana* Martínez. Las plántulas de las dos especies evaluadas presentaron calidad alta con respecto al índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez, relación biomasa seca aérea y biomasa radical, con valores superiores a los reportados por Rueda-Sánchez *et al.* (2012) quienes obtuvieron calidad media para *P. pseudostrobus* con un ID: 0.03; por otro lado, para el índice de robustez reportaron valores menores de 6, lo que indica que las plántulas tienen calidad alta, con más resistencia al doblamiento debido a diámetros más gruesos en donde se encontraron especies como: *Cedrela odorata*, *Pinus devoniana* y *P. oocarpa*, seguidas de *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*. Para la relación entre la biomasa seca parte aérea y biomasa radical reportaron valores superiores (4.7) determinado como calidad baja con respecto a los parámetros sugeridos por Ávila-Angulo *et al.* (2017). Lo anterior, indica que la longitud de raíz es una característica que está limitada por el tamaño del contenedor; por otro lado, para *Pinus cooperi* con aplicación de fertilizantes de liberación controlada (granulado) alta (6 y 8 gL⁻¹) presentaron mejores características morfológicas en plántulas de 12 meses de edad (Martínez-Nevárez *et al.* 2023). También Sáenz *et al.* (2014) reportaron valores diferentes en la calidad morfológica, en las que determinaron que la relación altura/ diámetro basal (índice de esbeltez) para *P. greggii* fue de calidad baja con IE = 10.39, para *P. pseudostrobus* IE = 7.55 y para *P. michoacana* IE = 12.18, también la relación altura/longitud de raíz en *P. pseudostrobus* y *P. michoacana* lo clasificaron como de calidad alta con 1.9:1, 0.6:1. También Paz-Paz *et al.* (2023) reportan para índices de esbeltez (calidad media) para *Pinus patula* y *Pinus oaxacana* en plantas de tres meses de 7.3 a 7.9, mientras que Ávila-Angulo *et al.* (2017) reportan para *P. oaxacana* valores bajos (4.5 a 4.7) en índice de esbeltez; los cuales son diferentes a los reportados por Aguilera-Rodríguez *et al.* (2021) quienes consignaron calidad alta para índice de esbeltez (5.8) en *P. patula* a los siete meses de edad en sustratos de aserrín de coníferas y latifoliadas. Esta variación en calidad se atribuye al crecimiento en altura, ya que a mayor altura de la planta el índice de esbeltez disminuye.

Para *P. oaxacana* y *P. patula* han encontrado calidad media en cuanto al índice de Dickson (0.30) en plantas de nueve meses de edad utilizando en la primera especie fertilización tradicional y fertilización alta en la segunda especie (Paz-Paz *et al.* 2023). Mientras que Ávila-Angulo *et al.* (2017) refieren para *P. oaxacana* valores de 1.1 a 1.3. Por otra parte, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2021) mencionan para *P. patula* valores de 0.47-0.55, 0.26-0.58 y 0.23-0.25, indicando calidades medias; es decir, que valores cercanos a la unidad indican balance y equilibrio entre la raíz y la parte aérea (Ávila-Angulo *et al.* 2017). También Bernaola-Paucar *et al.* (2016) refieren que el tamaño del contenedor si afecta en la calidad morfológica de la planta, principalmente en el índice de Dickson y longitud de raíz; lo anterior al evaluar la calidad morfológica de *P. douglasiana* y *P. devoiana* de 12 meses de edad, en dos tamaños de contenedor (1 y 5 L), con y sin fertilización, reportan que el tamaño del contenedor incrementa las variables de crecimiento y mejora los índices de calidad morfológica de la planta.

Por otro lado, los incrementos en relación biomasa aérea/subterránea, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson para las dos especies (*P. patula* y *P. pseudostrobus*) presentaron valores similares a los reportados por Castro-Garibay *et al.* (2018) quienes al evaluar el efecto del envase, sustrato y fertilización en *Pinus greggii* var. *australis* de siete meses de edad, encontraron incrementos en peso seco aéreo/peso seco raíz de 2.6-3.3, índices de esbeltez de 0.87-1.0 y con índices de calidad de Dickson (0.42-0.57) en contenedores con drenaje típico con fertilización. Por lo anterior se sugiere que el diseño (posición y tamaño de drenaje) y tamaño del contenedor presenta mayor efecto en el crecimiento e incremento de las plántulas. En cuanto al incremento para la relación altura de planta/longitud de raíz, Luna (2019) encontró valores superiores con 0.16-0.31 en plantas de seis meses de edad de *Pinus tadea* L. con diferentes sustratos y fertilizantes, pero valores similares para el índice de esbeltez (6.52); que se considera como indicador de la densidad de cultivo y refleja la capacidad de la planta para tolerar daños físicos tanto en raíz desnuda como en contenedores (Luna 2019). Se sabe que el peso de planta es un indicador de supervivencia. Al respecto, Sáenz *et al.* (2010) encontraron que existe relación entre el peso (biomasa aérea y radical) y la supervivencia en campo. En lo referente al peso seco total, Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo (2019) indican que entre más pesada sea una planta mayor calidad presenta con mejor crecimiento, esta relación esta fuertemente relacionada con el diámetro al cuello de la raíz. Mientras que la relación longitud del tallo/raíz predice el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente y esta relación debe ser preferible cercano a la unidad.

En lo referente al diámetro al cuello de la raíz es una característica que permite predecir el desempeño de la planta en campo (calidad de la planta) y es fundamental para desarrollar estándares de calidad; sin embargo, estos estándares cambian debido a las condiciones de manejo, por ello que es necesario realizar estándares de calidad para cada especie. Al respecto, Tsakalidimi *et al.* (2013) ha demostrado que esta característica influye en la supervivencia durante los primeros meses de establecidos en campo, ya que está relacionada con las reservas de carbohidratos no estructurales y desarrollo de raíces. El diámetro tiene efecto en la robustez de la planta y se asocia con su vigor y supervivencia (Rodríguez-Carrillo y Santillana 2021); es decir, una planta con mayor diámetro esta mejor lignificada, tiene yemas para rebrotación, reservas de carbohidratos y raíz mejor desarrollada (Paz-Paz *et al.* 2023). Al respecto Sáenz *et al.* (2014) reportan que las plantas producidas en tubetes y que presentan diámetros mayores de 5 mm toleran los daños producidos por plagas y son más resistentes al doblamiento.

CONCLUSIONES

Se observó que la fertilización al 40% y 60% proporcionan un soporte físico adecuado que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además de los parámetros morfológicos también es necesario integrar índices morfológicos, sus relaciones y su incremento a edades tempranas para dar mayor robustez y aplicabilidad a las evaluaciones de calidad de plántulas. Es necesario investigaciones sobre tipos y dosis de fertilización en el género *Pinus*, así como del tipo y tamaño de contenedor. De manera general, el contenedor de mayor tamaño generó un mejor desarrollo radical y de calidad de planta; y el contenedor con un buen drenaje (aperturas al fondo del tubete) presentó mejor desarrollo radicular.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONAHCYT por la beca de posgrado otorgada.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Rodríguez M, Aldrete A, Trejo-Téllez LI, Ordaz-Chaparro VM (2021) Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Agrociencia* 55(8): 719-732. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2664>
- Ávila-Angulo ML, Aldrete A, Vargas-Hernández JJ, Gómez-Guerrero A, González-Hernández VA, Velázquez-Martínez A (2017) Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(2): 221-229. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.05.029>
- Birchler T, Rose RW, Royo A, Pardos M (1998) La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 7(1 y 2): 109-121.
- Burney O, Aldrete A, Álvarez RR, Prieto RJA, Sánchez VJR, Mexal JG (2015) México-Addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry* 113(4): 404-413. <https://doi.org/10.5849/jof.14-007>
- Bernaola-Paucar RM, Zamora-Natera JF, Vargas-Radillo J de J, Cetina-Alcalá VM, Rodríguez-Macías R, Salcedo-Pérez E (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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i33.91>
- Castro-Garibay SI, Aldrete A, López-Upton J, Ordaz-Chaparro VM (2018) Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus gerrgii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52: 115-127.
- CONAFOR (2024) Compendio de estadísticas ambientales 2024. Comisión Nacional Forestal. México. 10p.
- Escobar-Alonso S, Rodríguez-Trejo DA (2019) Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55): 4-38. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- García-Pérez JL, Aldrete A, López-Upton J, Vargas-Hernández JJ, Prieto-Ruíz JA (2015) Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el precondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3): 297-304.
- Kuan-Hung L, Chun-Wei W, Yu-Sen C (2019) Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 47: 169-176. <https://doi.org/10.15835/nbha47111312>
- Luna CV (2019) Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 39(1): 19-29.
- Martínez-Nevárez LE, Prieto-Ruíz JÁ, Sigala-Rodríguez JÁ, García-Rodríguez JL, Martínez-Reyes M, Carrillo-Parra A, Domínguez-Calleros PA (2023) Crecimiento y eficiencia en el uso de nutrientes de plantas de *Pinus cooperi* C. E. blanco producidas en vivero con un fertilizante de liberación controlada. *Terra Latinoamericana* 41: e1707. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1707>

- Paz-Paz M, Rodríguez-Trejo DA, Villanueva-Morales A, Borja-De la Rosa MA (2023) Fertilización, calidad de planta y supervivencia en campo de *Pinus* spp. en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 14(76): 71-92. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1324>
- Pérez-Santiago R, Enríquez-del Valle JR, Castañeda-Hidalgo E, Velasco-Velasco VA, Rodríguez-Ortiz G, Campos-Ángeles GV (2014) Dosis de fertirriego durante la aclimatización de plantas de *Agave americana* micropropagadas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(1): 20-27.
- Prieto RJÁ, Duarte SA, Goche TJR, González OMM, Pulgarín GMÁ (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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.182>
- Rodríguez-Carrillo M, Santillana N (2021) Calidad morfológica y biológica de *Pinus radiata* D. Don, micorrizado con *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. en condiciones de vivero. *Ecología Aplicada* 20(2): 189-195. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i2.1809>
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio J de D, Saenz-Reyez JT, Muñoz FHJ, Prieto-Ruiz JÁ, Orozco GG (2014) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58-73. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350>
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio J de D, Prieto-Ruiz AJ, Sáenz-Reyez JT, Orozco-Gutiérrez G, Molina-Castañeda A (2012) Calidad de planta producida en viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 69-82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i14.475>
- Sáenz RJT, Muñoz FHJ, Pérez DCMÁ, Rueda SA, Hernández RJ (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. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.293>
- Sáenz RJT, Villaseñor-Muñoz RF, Rueda SA, Prieto R (2010) Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Editorial SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Folleto Técnico Núm. 17. México. 19p.
- Sáenz-Reyes JT, Castillo-Quiroz D, Castillo-Reyes F, Muñoz-Flores HJ, Avila-Flores DY (2019) Determination of the plant quality in cortadillo (*Nolina cespitifera* Trel.) under chemical and biological fertilization in nursery. *Revista Bio-Ciencias* 6: e547. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e547>
- Touhami I, Khorchani A, Bougarradh M, Elaieb MT, Khaldi A (2017) Assessing the quality of seedlings in smallscale nurseries using morphological parameters and quality indicators to improve outplanting success. *Plant Sociology* 54: 29-32. <https://doi.org/10.7338/pls2017541S1/04>
- Tsakaldimi M, Ganatsas P, Jacobs DF (2013) Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests* 44: 327-339. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>
- Ureta LDA, García QY, Arteaga CY, Morales MA, Lazo PY, Jalca I (2018) Método de clasificación a partir del diagnóstico de calidad morfológica en vivero para la selección de especies forestales promisorias en programas de restauración. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 7(3): 142-150. <https://doi.org/10.59410/RACYT-v07n03ep02-0099>