

Calidad morfológica de plantas de oyamel (*Abies religiosa* [Kunth] Schltdl. et Cham.) en condiciones de fertirriego

Título corto: Calidad de plantas de oyamel bajo fertirriego

Isabel E. Bernardino-Pérez¹ (<https://orcid.org/0009-0007-4228-344X>)

Gerardo Rodríguez-Ortiz^{1*} (<https://orcid.org/0000-0003-0963-8046>)

José R. Enríquez-del Valle¹ (<https://orcid.org/0000-0002-7700-3790>)

Pablo Espinoza-Zúñiga² (<https://orcid.org/0000-0002-2582-7800>)

Gisela V. Campos-Angeles¹ (<https://orcid.org/0000-0003-2258-7124>)

Ernesto Hernández-Santiago¹ (<https://orcid.org/0009-0009-0806-327X>)

¹Tecnológico Nacional de México (TecNM), Campus Valle de Oaxaca (ITVO), División de Estudios de Posgrado e Investigación. Exhacienda de Nazareno s/n, San Jesús de Nazareno. C. P. 71233. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

²Tecnológico Nacional de México (TecNM), Campus Valle de Oaxaca (ITVO), extensión Santo Domingo Ixcatlán. C. P. 71146. Tlaxiaco, Oaxaca, México.

* Autor para correspondencia: gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx



Resumen

Introducción. Los escenarios del cambio climático proyectan una reducción del hábitat de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. Por ello, es fundamental la obtención de plantas de calidad capaces de adaptarse y desarrollarse en nuevas condiciones de establecimiento.

Objetivo. Evaluar la calidad morfológica de plantas de *A. religiosa* bajo cuatro dosis de solución Steiner en condiciones de vivero.

Materiales y métodos. El experimento se hizo bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de acuerdo con las dosis de la solución universal Steiner (150 mL·planta⁻¹ cada siete días): T1 = 40 %, T2 = 60 %, T3 = 80 % y T4 = 100 %, más un testigo. La altura de la planta, diámetro de cuello y número de ramas se registraron cada mes y a los cuatro meses se hizo un muestreo destructivo para determinar 21 indicadores morfológicos. Se hicieron análisis de varianza y pruebas de medias de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Resultados. Después de cuatro meses de evaluación, el peso específico foliar, el índice de lignificación y el peso verde de ramas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$); las dosis de 40 % y 60 % de solución Steiner mejoraron dichos indicadores. Durante los muestreos mensuales, la altura de planta y diámetro de cuello se diferenciaron significativamente. Los atributos de *A. religiosa* con fertirriego de 40 % de solución Steiner fueron de calidad alta.

Conclusiones. La calidad morfológica alta de las plantas de oyamel, fertirrigadas con 40 % de la solución Steiner, sugiere que estas mostrarán mejor desempeño cuando sean llevadas al sitio de plantación.

Palabras clave: calidad de planta, diámetro de cuello, índice de lignificación, peso específico foliar, solución Steiner.

Recibido: 23 de agosto de 2025

Aceptado: 3 de septiembre de 2026



Introducción

La restauración forestal surge como una estrategia clave para la recuperación de áreas degradadas, mediante el establecimiento de plantas de calidad provenientes de vivero que proporcionen germoplasma exitoso en los procesos de sucesión (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2022). En plantaciones forestales comerciales y reforestaciones es imprescindible el establecimiento de plantas de alta calidad morfológica, genética, fisiológica, biológica y sanitaria que garanticen el éxito del proyecto (Burney et al., 2015; Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo, 2019; Muñoz-Flores et al., 2015). De esta manera la tasa de supervivencia aumenta y el desarrollo mejora, incluso en zonas de baja productividad (Pineda-Ojeda et al., 2020). Los índices bajos de supervivencia (<40 %) provocan que no se alcancen los objetivos de las reforestaciones, los cuales deben ser >80 % para una supervivencia muy alta (Flores-García et al., 2021).

La calidad se refiere a las características sobresalientes de las plantas que determinan una mayor supervivencia, vigor, adaptación y crecimiento en las condiciones climáticas y de suelo en el sitio de plantación (Grossnickle & MacDonald, 2018; Kuan-Hung et al., 2019). La calidad morfológica se puede determinar mediante la altura, diámetro de cuello, sistema radical, relación altura-diámetro de cuello, índice de robustez, biomasa y presencia de micorrizas (Escobar-Alonso & Rodríguez-Trejo, 2019). La relación altura de la planta/longitud de raíz e índice de Dickson también son importantes, aunque consumen tiempo y recursos, ya que requieren de muestreo destructivo (Ellison et al., 2016).



En el establecimiento de una plantación también se deben considerar aspectos específicos como forma, tipo y tamaño de contenedor, sustrato, método de fertilización y riego que también influyen en el desarrollo y calidad de planta (Heras-Marcial et al., 2023). Las soluciones nutritivas optimizan los requerimientos nutricionales de las plantas, ya que contienen elementos indispensables para un mayor crecimiento y desarrollo. La aplicación de una solución específica y su posible dilución determina la cantidad total de nutrimentos que debe ajustarse a la fase de desarrollo de la planta (Cruz-Crespo et al., 2014). No obstante, la asimilación de nutrientes está condicionada por el genotipo, parte aérea y subterránea, y la edad de las plantas (Gandica-Omaña & Peña, 2015); por ello, es fundamental analizar las composiciones de soluciones nutritivas para lograr la capacidad máxima de producción.

La solución universal de Steiner aporta concentraciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y se utiliza con mayor frecuencia en investigaciones agrícolas (López-Gómez et al., 2017; Ramírez-Vargas, 2019). Las proporciones de los iones aseguran que las plantas puedan desarrollarse de forma adecuada; con frecuencia, se emplea como estándar debido a su riqueza en nutrientes, balance iónico y absorción rápida, lo que mejora el rendimiento, crecimiento y fructificación (Luna-Fletes et al., 2021). En contraste, estudios de este tipo en plantas perennes son escasos, como el caso de Román-Jiménez et al. (2004), quienes evaluaron *P. greggii* Engelm. en condiciones de invernadero y fertirrigación con solución Steiner. Dichos autores determinaron que los índices morfológicos representan un primer enfoque para analizar el balance de nutrientes en especies forestales y sugieren la necesidad de evaluar dosis específicas de fertilización para alcanzar un equilibrio fisiológico y operativo en la producción de planta.

Abies religiosa (Kunth) Schltdl. et Cham. (oyamel) es una especie originaria de las montañas altas de México, crece en altitudes entre 2 100 y 3 500 m (CONAFOR, 2014; Farjon, 2013) y se desarrolla en terrenos bien drenados con precipitaciones superiores a 1 000 mm. La especie puede encontrarse en masas puras o mezcladas con *Pinus montezumae* Lamb., *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* Beissn., *P. hartwegii* Lindl.,



Alnus acuminata Kunth., *Prunus serotina* Ehrh., *Quercus* spp. y *Arbutus* spp. (Farjon, 2013).

En México, la investigación de *A. religiosa* respecto a los indicadores de calidad de planta en vivero es escasa o nula. El único estudio sobre esta especie, relacionado con el crecimiento en vivero, es el de Gallardo-Salazar et al. (2019), quienes utilizaron variables de crecimiento (altura, diámetro del cuello y longitud de raíz) y de biomasa (peso seco del brote y raíz, peso seco total, relación peso seco de la raíz/brote, índice de calidad de Dickson e índice de esbeltez) para predecir las tasas de supervivencia en plantación. Algunos otros estudios en el país se han enfocado en la selección de procedencias, donde no se identificaron patrones claros de crecimiento en relación con el origen de estas (Benavides-Meza et al., 2011), mientras que estudios como los de Cruzado-Vargas et al. (2020, 2025) determinaron una tasa de supervivencia de 75 % en vivero e indicaron que los extremos altitudinales de las procedencias de *A. religiosa* mostraron los valores más destacados de variación genética. Los estudios de Cruzado-Vargas et al. (2025) y Manzanilla-Quijada et al. (2024) señalan que las poblaciones de oyamel ubicadas en el límite altitudinal inferior de su distribución podrían sufrir estrés hídrico y mayores tasas de mortalidad en escenarios futuros; por ello, es fundamental contar con plantas de calidad capaces de adaptarse y desarrollarse en nuevas condiciones de establecimiento. En tal contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad morfológica de plantas de *A. religiosa* bajo condiciones de fertirriego con cuatro dosis de solución Steiner en condiciones de vivero.

Materiales y métodos



Obtención de plantas

El experimento se realizó en el vivero del área de cultivo de tejidos vegetales (17° 04' N, 96° 46' O a una altitud de 1 550 m) del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), México. Se emplearon 100 plantas de *A. religiosa* de ocho meses con promedio de 20.1 cm de altura y 2.9 mm en diámetro de cuello. Las plantas se obtuvieron en la Comisión Estatal Forestal (COESFO) de Oaxaca y se replantaron en bolsa de polietileno de 20 × 15 cm en un sustrato compuesto de tierra de monte, Peat Moss® y perlita (1:1:1).

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de acuerdo con las dosis de la solución universal Steiner (%): T1 = 40, T2 = 60, T3 = 80 y T4 = 100, más un testigo; se utilizó una plántula como unidad experimental con 20 repeticiones por tratamiento. Para el caso del fertirriego, la solución universal Steiner se aplicó en dosis de 150 mL·planta⁻¹ cada siete días. Durante cuatro meses se midió mensualmente la altura de la planta (cm) con flexómetro, diámetro de cuello (mm) con vernier digital (Atverce modelo VC 1) y conteo del número de ramas.

A los cuatro meses se hizo la evaluación mediante un muestreo destructivo, para lo cual se seleccionaron cinco plantas al azar por tratamiento. Para ello, la planta se retiró de la bolsa de polietileno y con agua se eliminó el exceso del sustrato, después se separó el tallo de la raíz y ramas. Las variables que se consideraron fueron altura de la planta (cm) y longitud de la raíz (cm) medidas con flexómetro, diámetro de cuello (mm) determinado con vernier digital (Atverce modelo VC 1) y en cada rama se midió su longitud (cm) y el diámetro de base (mm). Para determinar el área foliar (cm²) se separaron todas las hojas y se colocaron en una hoja blanca tamaño carta, luego se obtuvo una imagen en formato jpg en Scanner (Epson® modelo L220). Las imágenes se analizaron en el programa ImageJ® (Schneider et al., 2012) para calcular área foliar y determinar peso específico foliar. Las hojas identificadas por planta y órgano estructural se almacenaron en bolsas



de papel, las cuales se secaron en estufa de secado (Memmert® modelo UFP800DW) a 105 °C; finalmente, se obtuvo el peso seco (g) estructural en una balanza analítica (SHIMADZU® modelo ATY224).

Indicadores de calidad de planta

De acuerdo con Escobar-Alonso y Rodríguez-Trejo (2019) y Hernández-Ramos et al. (2021) se determinaron los índices de calidad morfológica e índices foliares siguientes:

$$ID = \frac{PST}{\frac{AP}{DC} + \frac{PSPA}{PSR}}$$

$$IE = \frac{AP}{DC}$$

$$RAS = \frac{BA}{BR}$$

$$RAR = \frac{RPA}{RPR}$$

$$PEF = \frac{PSH}{AF}$$

$$IL = \frac{PST}{PVT} \times 100$$

donde, ID = índice de calidad de Dickson, PST = peso seco total (g), AP = altura (cm), DC = diámetro de cuello (mm), PSPA = peso seco parte aérea (g), PSR = peso seco de raíz (g), IE = índice de esbeltez (cm·mm⁻¹); RAS = relación biomasa aérea (BA)/biomasa raíz (BR); RAR = relación parte aérea (RPA)/parte raíz (RPR), PEF = peso específico



foliar ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), PSH = peso seco de las hojas (g), AF = área foliar (cm^2), IL = índice de lignificación, PST = peso seco total (g), PVT = peso verde total (g).

Manejo y análisis de datos

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos se comprobaron mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett ($\alpha = 0.05$), respectivamente; aquellas variables que no los cumplieron se transformaron a $\log(x)$ o se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). Los datos de muestreo destructivo (a los cuatro meses de evaluación) se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) mediante el modelo lineal general (PROC GLM) y pruebas de medias de Duncan ($p = 0.05$). Las variables medidas de forma mensual (altura, diámetro de cuello y número de ramas) se analizaron a través de ANOVA de medidas repetidas y pruebas de medias de Tukey ($p = 0.05$); de igual forma, se realizó ANOVA mediante el modelo lineal general (PROC GLM) para las tasas de crecimiento relativo en altura y diámetro de cuello y pruebas de medias de Tukey ($p = 0.05$). El área foliar (AF) por planta del muestreo destructivo se ajustó mediante modelo de regresión no lineal $[AF = \beta_0(DC^{\beta_1})(AP^{\beta_2})]$ con PROC MODEL, donde se utilizó el diámetro de cuello (DC) y altura de planta (AP) como variables independientes; con este modelo se estimó el AF y el peso específico foliar de todas las plantas del experimento.

Todos los análisis se hicieron con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System Inc., 2024); por último, la calidad de planta se calificó con base en el área foliar específica y en las características evaluadas por Sáenz-Reyes et al. (2010) en otras coníferas.

Resultados

Los tratamientos evaluados mostraron efectos significativos ($p \leq 0.05$) en el peso verde de ramas, índice de lignificación y peso específico foliar; el resto de las variables no se diferenciaron entre tratamientos ($p > 0.05$), lo que indica que la respuesta de las plantas a las dosis de fertilizante fue similar. La longitud de raíz, peso verde raíz y relación parte aérea/parte raíz mostraron el mayor error experimental; por consiguiente, tuvieron coeficientes altos de variación ($CV > 46 \%$). Las tasas de crecimiento relativo en altura (TCRA) y diámetro (TCRD), no diferenciadas entre tratamientos, indican homogeneidad en el comportamiento de cada planta durante el tiempo de medición (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Análisis de varianza y prueba de Kruskal-Wallis de las variables morfológicas evaluadas en plantas de *Abies religiosa* bajo condiciones de fertirriego con solución Steiner.

Variable (gl = 20)	Cuadrados medios	Error	CV (%)	RCME
	ANOVA			
Altura	17.46 ns	10.98	12.5	3.3
Diámetro de cuello	0.73 ns	0.38	15.3	0.6
Peso verde tallo	2.20 ns	1.46	26.1	1.2



Peso verde ramas	12.16*	4.44	41.5	2.1
Peso verde total	26.65 ns	12.86	28.5	3.5
Peso seco tallo	0.20 ns	0.18	24.8	0.4
Peso seco raíz	0.037 ns	0.11	30.6	0.3
Peso seco ramas	1.00 ns	0.48	43.1	0.6
Peso seco total	1.67 ns	1.45	26.9	1.2
Índice de esbeltez	0.62 ns	0.85	13.8	0.9
Índice de Dickson	0.13 ns	0.12	15.3	0.3
Relación altura/peso seco del sistema radical	0.018 ns	0.07	8.6 (8.3) [†]	0.2
Relación biomasa aérea/biomasa raíz	0.010 ns	0.01	12.5 (21.0) [†]	0.1
Índice de lignificación	51.29*	19.52	12.2	4.4
Peso específico foliar	0.30*	0.10	28.1	0.3
Área foliar	1.21 ns	1.06	32.4	1.0
Tasa de crecimiento relativo en altura	1.05 ns	0.78	83.6	0.8
Tasa de crecimiento relativo en diámetro	0.02 ns	0.02	45.0	0.1
Prueba de Kruskal-Wallis				
Largo de la raíz	205.14 ns	235.80	-462.6 (82.1) [†]	15.3
Peso verde raíz	23.00 ns	60.40	59.7 (52.2) [†]	7.7
Relación parte aérea/ raíz	94.70 ns	46.06	52.2 (25.4) [†]	6.7

gl = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, RCME = raíz del cuadrado medio del error. [†]Transformación a logaritmo natural: valor transformado y real entre paréntesis. *significativo ($p \leq 0.05$); ns = no significativo ($p > 0.05$).

La solución nutritiva Steiner al 40 % generó los mejores resultados para las plantas de *Abies religiosa* (Cuadro 2); esto se refleja en el mejor valor del peso específico foliar que indica que cada centímetro de área foliar pesa 1.47 g, mientras que el testigo generó 0.81 g·cm⁻², valor 81.4 % menor. La misma dosis (40 %) también mostró el mayor peso fresco



de ramas (6.87 g), el cual superó en 86.6 % al testigo; asimismo, reflejó un índice de lignificación menor (31.2).

Cuadro 2. Efecto de las dosis de tratamiento de la solución Steiner en indicadores morfológicos y de crecimiento de plantas de *Abies religiosa*.

Indicadores	Testigo	T1 (dosis 100 %)	T2 (dosis 80 %)	T3 (dosis 60 %)	T4 (dosis 40 %)
Altura (cm)	26.80 ± 1.55 a	27.70 ± 1.17 a	24.28 ± 1.37 a	24.72 ± 1.94 a	28.58 ± 1.22 a
Diámetro de cuello (mm)	3.91 ± 0.27 a	4.39 ± 0.24 a	3.81 ± 0.16 a	3.52 ± 0.37 a	4.40 ± 0.28 a
Largo de la raíz (cm)	31.88 ± 3.71 a	28.90 ± 2.18 a	63.56 ± 3.91 a	31.40 ± 1.88 a	32.30 ± 3.94 a
Peso verde del tallo (g)	4.53 ± 0.23 a	4.70 ± 0.39 a	4.04 ± 0.61 a	4.18 ± 0.54 a	5.73 ± 0.76 a
Peso verde de raíz (g)	3.04 ± 3.02 a	2.37 ± 3.08 a	2.89 ± 3.12 a	2.21 ± 3.16 a	3.80 ± 4.68 a
Peso verde de ramas (g)	3.68 ± 0.37 b	4.39 ± 0.94 ba	3.76 ± 1.33 b	6.62 ± 0.64 ba	6.87 ± 1.10 a
Peso verde total (g)	11.26 ± 1.20 b	11.47 ± 1.32 ba	10.71 ± 2.01 b	13.07 ± 1.41 ba	16.41 ± 1.89 a
Peso seco de tallo (g)	1.83 ± 0.26 a	1.78 ± 0.13 a	1.48 ± 0.15 a	1.65 ± 0.21 a	2.02 ± 0.18 a
Peso seco de la raíz (g)	1.13 ± 0.18 a	1.18 ± 0.19 a	0.95 ± 0.14 a	1.07 ± 0.08 a	1.10 ± 0.10 a
Peso seco de ramas (g)	1.25 ± 0.14 a	1.39 ± 0.25 a	1.24 ± 0.37 a	2.21 ± 0.14 a	1.97 ± 0.48 a
Peso seco total (g)	4.21 ± 0.52 a	4.37 ± 0.44 a	3.67 ± 0.63 a	4.94 ± 0.40 a	5.10 ± 0.64 a
Índice de esbeltez (cm·mm ⁻¹)	6.90 ± 0.36 a	6.37 ± 0.42 a	6.38 ± 0.36 a	7.17 ± 0.60 a	6.53 ± 0.21 a
Índice de Dickson	2.27 ± 0.10 a	2.29 ± 0.12 a	2.28 ± 0.25 a	2.23 ± 0.13 a	2.62 ± 0.14 a
RAR	0.85 ± 0.05 ba	0.97 ± 0.06 a	0.62 ± 0.13 b	0.79 ± 0.04 ba	0.94 ± 0.13 a
RAPSR	25.76 ± 3.70 a	25.71 ± 3.94 a	28.85 ± 6.07 a	22.98 ± 0.80 a	26.50 ± 1.85 a
RAS	1.65 ± 0.10 a	1.58 ± 0.13 a	1.69 ± 0.28 a	1.52 ± 0.08 a	1.83 ± 0.07 a
Índice de lignificación	37.26 ± 1.19 ba	38.73 ± 2.24 a	34.77 ± 2.11 ba	38.65 ± 2.13 a	31.15 ± 2.01 b
Área foliar (cm ²)	3.81 ± 0.13 a	3.51 ± 0.69 a	2.67 ± 0.59 a	3.17 ± 0.34 a	2.37 ± 0.31 a
Peso específico foliar (g·cm ⁻²)	0.81 ± 0.11 b	1.00 ± 0.15 b	1.09 ± 0.15 ba	1.24 ± 0.09 ba	1.47 ± 0.17 a
TCRA	1.34 ± 0.19 a	1.14 ± 0.24 a	1.15 ± 0.24 a	1.14 ± 0.14 a	0.83 ± 0.122 a
TCRD	0.32 ± 0.02 a	0.33 ± 0.04 a	0.32 ± 0.03 a	0.27 ± 0.02 a	0.36 ± 0.03 a

RAR = relación parte aérea/parte raíz, RAPSR = relación altura/peso seco raíz, RAS = biomasa seca aérea/biomasa raíz (g), TCRA = tasa de crecimiento relativo en altura; TCRD = tasa de crecimiento relativo en diámetro. Valores promedios ± error estándar (n = 5). Letras distintas en filas son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Duncan ($p = 0.05$).

Durante los muestreos secuenciales, la altura de la planta varió significativamente ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos al inicio y al final del experimento (diciembre y marzo), el



diámetro del cuello fue diferente en los meses intermedios (enero-febrero) y el número de ramas en el mes de marzo (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Resumen de análisis de varianza con medidas repetidas en el tiempo en plantas de *Abies religiosa* tratadas con fertirriego mediante solución Steiner.

Variable (gl = 95)	Cuadrados medios	Error	CV (%)	RCME
Altura				
Mes 1 (diciembre)	24.84*	9.29	13.7	3.04
Mes 2 (enero)	0.73 ns	0.38	15.3	0.61
Mes 3 (febrero)	14.87 ns	12.19	14.3	3.49
Mes 4 (marzo)	11.91*	14.55	15.0	3.81
Diámetro de cuello				
Mes 1 (diciembre)	0.09 ns	0.26	15.8	0.51
Mes 2 (enero)	0.72*	0.27	14.7	0.51
Mes 3 (febrero)	2.30*	0.52	17.9	0.72
Mes 4 (marzo)	0.49 ns	0.34	14.0	0.59
Número de ramas				
Mes 1 (diciembre)	6.86 ns	5.22	34.0	2.28
Mes 2 (enero)	6.63 ns	5.27	32.5	2.29
Mes 3 (febrero)	5.71 ns	5.78	32.2	2.40
Mes 4 (marzo)	6.25*	6.77	32.3	2.60

gl = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, RCME = raíz del cuadrado medio del error, *significativo ($p \leq 0.05$), ns = no significativo ($p > 0.05$).

En el primer mes de medición (diciembre), la altura de planta fue superior en la dosis de 40 % (T4); esta variable no se diferenció entre los tratamientos durante los dos meses siguientes, pero en el mes cuatro (marzo), el efecto de todas las dosis de fertirriego superó al testigo. De igual manera, en promedio, el número de ramas fue 13.8 % mayor en las plantas fertirrigadas. Por otro lado, en el mes de febrero se obtuvo mejor respuesta



en el diámetro del cuello con dosis al 60 %, la cual superó al testigo en 24.7 % (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de variables morfológicas de *Abies religiosa* a través del tiempo tratadas con fertirriego mediante solución Steiner.

Mes	Testigo	T1 (dosis 100 %)	T2 (dosis 80 %)	T3 (dosis 60 %)	T4 (dosis 40 %)
Altura de la planta (cm)					
1 (diciembre)	21.19 ± 0.64 b	21.52 ± 0.68 ab	22.36 ± 0.71 ab	21.99 ± 0.73 ab	24.05 ± 0.61 a
2 (enero)	22.00 ± 0.63 a	22.59 ± 0.73 a	22.60 ± 0.84 a	23.32 ± 0.90 a	24.74 ± 0.59 a
3 (febrero)	23.66 ± 0.63 a	23.84 ± 0.72 a	24.54 ± 0.98 a	24.10 ± 0.91 a	25.81 ± 0.57 a
4 (marzo)	23.90 ± 0.61 b	24.96 ± 0.87 a	25.84 ± 1.14 a	25.50 ± 0.90 a	25.84 ± 0.60 a
Diámetro de cuello (mm)					
1 (diciembre)	3.21 ± 0.12 a	3.20 ± 0.10 a	3.21 ± 0.11 a	3.15 ± 0.09 a	3.33 ± 0.12 a
2 (enero)	3.49 ± 0.12 ba	3.57 ± 0.09 ba	3.21 ± 0.11 b	3.55 ± 0.09 ba	3.74 ± 0.14 a
3 (febrero)	3.65 ± 0.12 b	3.93 ± 0.10 ba	3.87 ± 0.11 b	4.55 ± 0.25 a	4.13 ± 0.15 ba
4 (marzo)	4.17 ± 0.14 a	4.19 ± 0.11 a	4.19 ± 0.11 a	3.97 ± 0.12 a	4.42 ± 0.15 a
Número de ramas					
1 (diciembre)	5.90 ± 0.49 a	6.50 ± 0.52 a	7.40 ± 0.52 a	7.15 ± 0.50 a	6.65 ± 0.50 a
2 (enero)	6.25 ± 0.42 a	6.80 ± 0.50 a	7.50 ± 0.53 a	7.70 ± 0.56 a	7.05 ± 0.53 a
3 (febrero)	6.65 ± 0.50 a	7.25 ± 0.53 a	8.05 ± 0.63 a	7.65 ± 0.50 a	7.70 ± 0.49 a
4 (marzo)	7.25 ± 0.45 b	7.80 ± 0.57 a	8.70 ± 0.72 a	8.10 ± 0.62 a	8.40 ± 0.49 a

Valores promedios (n = 4) ± error estándar. Letras iguales indican diferencias estadísticas inexistentes (Tukey, $p = 0.05$).

El diámetro del cuello y la altura de las plantas utilizadas en el muestreo destructivo lograron explicar 74 % ($R^2_{adj} = 0.74$) del área foliar de plantas de oyamel; el modelo de tipo exponencial, así como los parámetros de regresión, mostraron alta significancia estadística ($p \leq 0.001$), CV = 6.2 % y raíz del cuadrado medio del error (RCME) de 17 % (Figura 1). Este modelo se utilizó para calificar la calidad en área foliar y peso específico foliar de todo el lote experimental de plantas. De esta manera, el peso específico foliar e



Índice de lignificación se catalogan de medios a altos en las dosis de fertirriego de 40 % y 60 %; además, estos tratamientos tuvieron las mismas calificaciones en el resto de las variables evaluadas en *A. religiosa*, excepto en área foliar (**Cuadro 5**).

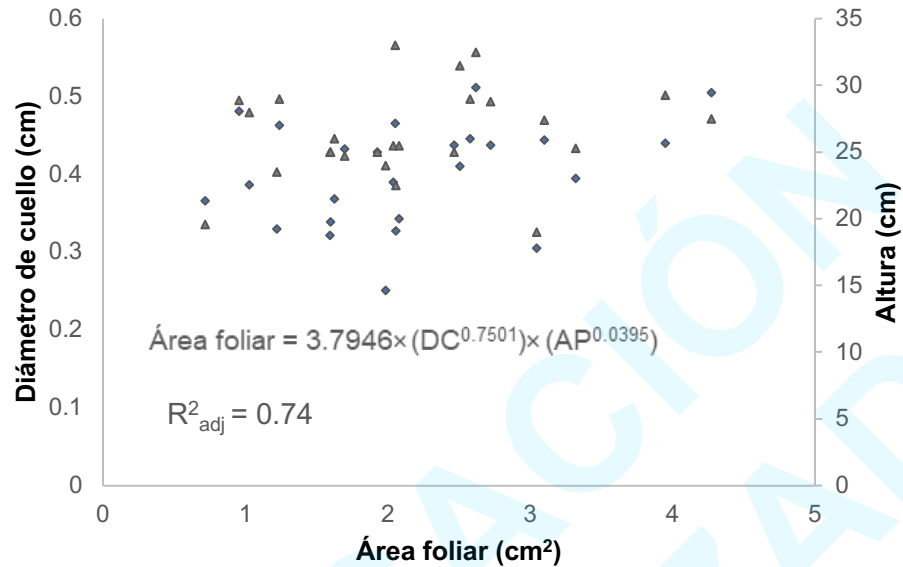


Figura 1. Estimación de área foliar en función al diámetro de cuello (DC) y la altura de planta (AP) de *Abies religiosa* bajo condiciones de fertirriego con solución Steiner.

Cuadro 5. Clasificación de calidad de planta de *Abies religiosa* con base en sus atributos morfológicos después de cuatro meses de fertirriego con solución Steiner.

Clasificación con base en el estudio de Sáenz-Reyes et al. (2010).

Variables	Testigo	T1 (dosis 100 %)	T2 (dosis 80 %)	T3 (dosis 60 %)	T4 (dosis 40 %)
Altura	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Diámetro	Media	Alta	Media	Media	Alta
Relación parte aérea/raíz	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Biomasa aérea/biomasa raíz	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Índice de Dickson	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Índice de esbeltez	Media	Media	Media	Media	Media



Índice de lignificación	Medio	Medio	Alto	Medio	Alto
Área foliar	Alta	Alta	Baja	Alta	Baja
Peso específico foliar	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto

Discusión

La aplicación de riegos mensuales con diferentes dosis de solución nutritiva Steiner mejoró la calidad morfológica de plantas de *A. religiosa*. En el caso de la dosis del 40 %, el peso verde de ramas y el peso específico foliar incrementaron, respectivamente, 86.7 % y 81.5 % con relación al testigo; en contraparte, el índice de lignificación de las plantas de esta dosis se redujo 23 % respecto al testigo (Cuadro 2). El resto de los indicadores morfológicos fue el mismo entre tratamientos, por lo que se sugiere que el tiempo de evaluación se amplíe hasta ocho meses para encontrar respuestas diferenciales, tal como lo señalan Navarro-Sandoval et al. (2013). En dicho estudio, se evaluaron dosis de fertilizante Peters Professional® en riego con atomizador dos veces por semana y hasta los ocho meses notaron diferencias de altura de la planta y diámetro de cuello entre tratamientos. Moreno-Chávez et al. (2002) argumentan que, en *A. religiosa*, la fertilización se debe de realizar siete meses en condiciones de vivero para poder apreciar el efecto; en el presente estudio solo se evaluaron cuatro meses.

En el presente estudio, las dosis de fertirriego del 40 % y 60 % de solución Steiner fueron las más efectivas para promover el crecimiento del diámetro de cuello, altura y número de ramas en plantas de *A. religiosa*; todas las dosis se diferenciaron del testigo, en algunos meses de medición (Cuadro 4). La variación de la altura de la planta de *A. religiosa*, al inicio y final del experimento, probablemente se originó por las variaciones



de temperatura, ya que las plantas procedían de clima frío (altitud cercana a 3 000 m), mientras que el experimento se desarrolló en un sitio a 1 550 m de altitud, protegido con malla sombra; estos cambios en el movimiento altitudinal generan variaciones en el crecimiento de variables morfológicas (Cruzado-Vargas et al., 2025; Manzanilla-Quijada et al., 2024).

La solución nutritiva Steiner no había sido utilizada en oyamel, pero sí en *Pinus greggii*, donde Román-Jiménez et al. (2004) mostraron que las dosis de 10 mL con distintas concentraciones de N-P-K aplicadas por 8.5 meses afectaron de manera significativa ($p \leq 0.05$) el crecimiento de las plantas; la biomasa seca aérea/biomasa raíz e índice de Dickson fueron superiores, lo que indica que promovieron más el crecimiento aéreo que el de las raíces.

En el presente estudio, las tasas de crecimiento relativo en altura y diámetro de cuello fueron iguales entre tratamientos (Cuadro 2); es decir, las dosis de solución Steiner no generaron crecimiento diferenciado en altura y diámetro con relación al testigo. Por ello, se recomienda que, en investigaciones futuras, el tiempo de medición se amplíe a siete u ocho meses. Respecto al tiempo de evaluación, Nzokou y Cregg (2010) utilizaron fertilizante MESA™ Lebanon Turf en *Abies fraseri* (Pursh) Poir. hasta por 24 meses para encontrar efecto significativo en la altura de planta. En otros estudios se han utilizado dosis de fertilizante de liberación lenta (FLL) y se han reportado diferencias significativas hasta los ocho meses en el diámetro de cuello, biomasa seca aérea/biomasa raíz, peso seco total e índice de Dickson en *P. greggii* (Vicente-Arbona et al., 2019) y en el índice de lignificación en *P. patula* Schl. et Cham. y en *P. oaxacana* Mirov. (Paz-Paz et al., 2023).

La ventaja del uso de solución Steiner en especies forestales, como el oyamel, redunda en la composición completa de macronutrientes a diferentes concentraciones (40, 60, 80, 100 % utilizadas en este estudio), que pueden impactar en la calidad morfológica y fisiológica de la planta en el mediano y largo plazo. Esto se comienza a reflejar en el corto plazo de cuatro meses en el peso específico foliar, ya que aquellas plantas fertirrigadas



con dosis de del 40 % generaron $1.47 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$, el cual fue 81.5 % mayor que el testigo ($0.81 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$). Este peso específico foliar implica una mayor densidad de las hojas por unidad de área; es decir, cada centímetro cuadrado de plantas con dosis del 40 % tiene un peso de 1.47 g. Tal característica confiere mayor capacidad fotosintética a la planta, lo cual puede detonar en mejores características morfológicas y fisiológicas durante la etapa de vivero e incluso en los estadios iniciales en el sitio de plantación (Gallardo-Salazar et al., 2019; Grossnickle & MacDonald, 2018; Hernández-Ramos et al., 2021; Kuan-Hung et al., 2019). La fertilización de planta forestal con solución Steiner en vivero también podría aportar ventajas referentes a los costos bajos y a su acción prolongada que puede perdurar hasta el sitio de plantación.

La fertilización que se realiza en los viveros forestales también puede tener resultados contradictorios, como el caso de *P. greggii* donde el testigo tuvo mayor producción de biomasa en raíz, que cuando se utilizó fertilizante de liberación controlada (FLC) y fertilizantes solubles en agua por 4.5 meses (Bautista-Ojeda et al., 2018). Asimismo, en *Pinus cooperi* Blanco no se encontraron diferencias significativas en altura de planta a los nueve meses de edad con el fertilizante Multicote® (González-Orozco et al., 2018) ni en *P. douglasiana* Martínez y *P. devoniana* Lindl. (Bernaola-Paucar et al., 2016).

Con respecto a la calidad de planta, existe evidencia que, en especies de *Pinus* de nueve meses de edad, la fertilización con FLL generó crecimiento en altura catalogado como planta de calidad alta y diámetro de cuello de calidad media, lo que repercute en la baja robustez de la planta (Sáenz-Reyes et al., 2014), así como índices de Dickson de calidad alta para *P. patula*, *P. oaxacana* y *P. greggii* (Heras-Marcial et al., 2023; Paz-Paz et al., 2023; Vicente-Arbona et al., 2019). De igual manera, la aplicación de FLC en *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* (Rodríguez-Ortiz et al., 2020) y *Pinus durangensis* Mart. (González-Alemán et al., 2025) generó plantas de calidad alta;



Conclusiones

En la evaluación de la calidad morfológica de plantas de *Abies religiosa* en condiciones de vivero se observaron efectos positivos de la solución Steiner del 40 % y 60 % sobre los indicadores de peso específico foliar e índice de lignificación de las plantas; además, el crecimiento en altura y diámetro se diferenciaron de manera intermitente durante el periodo de evaluación. Es posible estimar de manera confiable el área foliar en plantas de oyamel de cuatro meses, utilizando el diámetro de cuello y altura de planta como variables predictoras, lo cual es fundamental para estimar la capacidad fotosintética durante la fase de crecimiento en vivero y útil para mejorar la calidad morfológica y fisiológica de las plantas. La calidad morfológica alta encontrada en oyamel, bajo fertirrigación con ciertas dosis de solución Steiner, sugiere que las plantas mostrarán mejor desempeño cuando sean llevadas al sitio de plantación.

Agradecimientos

A la M. C. Magdalena María Coello Castillo, titular de la Comisión Estatal Forestal (COESFO) por las plantas donadas para este estudio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Declaración del uso de inteligencia artificial (IA)



Los autores declaramos no haber utilizado IA generativa o tecnologías asistidas por IA para el desarrollo del presente manuscrito.

Referencias

- Bautista-Ojeda, G. I., Prieto-Ruíz, J. Á., Hernández Díaz, J. C., Basave-Villalobos, E., Goche-Télles, J. R., & Montiel-Antuna, E. (2018). Crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes rutinas de fertilización en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 213-233. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.171>
- Benavides-Meza, H. M., Gazca-Guzmán, M. O., López-López, S. F., Camacho-Morfín, F., Fernández-Grandizo, D. Y., & Nepamuceno-Martínez, F. (2011). Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (HBK) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero. *Madera y Bosques*, 17(3), 83-102. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1731144>
- Bernaola-Paucar, R. M., Zamora-Natera, J. F., Vargas-Radillo, J. de J., Cetina-Alcalá, V. M., Rodríguez-Macias, 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>
- Burney, O., Aldrete, A., Alvarez-Reyes, R., Prieto-Ruíz, J. A., Sánchez-Velazquez, J. R., & Mexal, J. G. (2015). México addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4), 404-413. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham.). *Reforestación-Fichas técnicas*. [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873 Abies20religiosa.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873%20Abies20religiosa.pdf)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2022). *Programa apoyos para el desarrollo forestal sustentable 2022*. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reglas-de-operacion-2022>



- Cruzado-Vargas, A. L., Lindig-Cisneros, R., Blanco-García, A., López-Toledo, L., Gómez-Romero, M., Barrera Montppellier, E. & Sáenz-Romero, C. (2025). Prediction of the impact climate change on *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. and the feasibility of assisted migration. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24019. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.09.019>
- Cruzado-Vargas, A. L., Zamudio-Sánchez, F. J., Rodríguez-Yam, G. A., Carbajal-Navarro, A. L., Blanco-García, J. A., & Sáenz-Romero, C. (2020). Crecimiento de plántulas de regeneración natural de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en vivero y variación genética entre procedencias. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(1), 85-96. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.013>
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. (2014). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 289-295. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.3.289>
- Ellison, D. S., Schutzki, R., Nzokou, P., & Cregg, B. (2016). Root growth potential, water relations and carbohydrate status of ash alternative species following pre-plant storage. *Urban Forestry & Urban Greening*, 18, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.05.001>
- Escobar-Alonso, S., & Rodríguez-Trejo, D. A. (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>
- Farjon, A. (2013). *Abies religiosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T39592A2929657.en>



- Flores-García, A., Romero-Sánchez, M. E., Pérez-Miranda, R., Pineda-Ojeda, T., & Moreno-Sánchez, F. (2021). Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.813>
- Gallardo-Salazar, J. L., Rodríguez-Trejo, D. A., & Castro-Zavala, S. (2019). Calidad de planta y supervivencia de una plantación de oyamel [*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.] de dos procedencias en México central. *Agrociencia*, 53(4), 631-643. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1833/1830>
- Gandica-Omaña, H., & Peña, H. (2015). Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27(2), 111-120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6554>
- González-Alemán, M. A., Aguilera-Rodríguez, M., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, C., Madrid-Aispuro, R. E., & Prieto-Ruiz, J. A. (2025). Growth of *Pinus durangensis* Mart. in response to substrate types and controlled-release fertilizer rates in a nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 31, e24039. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.09.039>
- González-Orozco, M. M., Prieto-Ruiz, J. Á., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., Chávez-Simental, J. A., & Rodríguez-Laguna, R. (2018). Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 203-225. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>
- Grossnickle, S. C., & MacDonald, J. E. (2018). Seedling quality: History, application, and plant attributes. *Forests*, 9(5), 283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Heras-Marcial, M., Aldrete, A., Gómez-Guerrero, A., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2023). Influence of fertilization on survival and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery and field conditions. *Revista Chapingo Serie Ciencias*



- Hernández-Ramos, A., Valdez Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., Santos-Posadas, H. M., Hernández-Ramos, J., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2021). Medición del índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 114-137. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.808>
- Kuan-Hung, L. I. N., Chun-Wei, W. U., & Yun-Sen, C. (2019). Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 169-176. <https://doi.org/10.15835/nbha47111312>
- López-Gómez, J. D., Villegas-Torres, O. G., Sotelo-Nava, H., Andrade-Rodríguez, M., Juárez-López, P., & Martínez Fernández, E. (2017). Yield and quality of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.) by effect of nutritional regimen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1747-1758. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699>
- Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., & Can-Chulim, Á. (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>
- Manzanilla-Quijada, G. E., Osuna-Vallejo, V., Gabriela Zacarías-Correa, A., Gómez-Pineda, E., Gallardo-Salazar, J. L., & Sáenz-Romero, C. (2024). Seed transfer zones for reforestation in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve and the Meseta Purépecha facing climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(2). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2023.11.056>
- Moreno-Chávez, L. R., López-López, M. Á., Estañol-Botello, E., & Velázquez-Martínez, A. (2002). Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques*, 8(1), 51-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.811305>



- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Coria-Avalos, V. M., García-Magaña, J. de J., Hernández-Ramos, J., & Manzanilla-Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 72-89. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>
- Navarro-Sandoval, J. L., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Ruíz-Posadas, L. de M., & Sánchez-García, P. (2013). Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia*, 47(7), 707-721. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1051/1051>
- Nzokou, P., & Cregg, B. M. (2010). Growth, biomass, and nitrogen use efficiency of containerized Fraser fir (*Abies fraseri*) as related to irrigation and nitrogen fertilization. *HortScience*, 45(6), 946-951. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.946>
- Paz-Paz, M., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A. & Borja-de la Rosa, M. A. M. (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>
- Pineda-Ojeda, T., Flores-Ayala, E., Flores, A., Buendía-Rodríguez, E., Guerra de la-Cruz, V., & Islas-Gutiérrez, F. (2020). Calidad de planta de seis especies del género *Pinus* producidas en bolsas de polietileno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 165-174. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.809>
- Ramírez-Vargas, C. (2019). Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1), 107-117. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4122>
- Rodríguez-Ortiz, G., Aragón-Peralta, R. D., Enríquez-del Valle, J. R., Hernández-Hernández, A., Santiago-García, W., & Campos-Angeles, G. V. (2020). Calidad de



plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *Interciencia*, 45(2), 96-101. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2020/03/05_6697_Com_Rodriguez_Ortiz_v45n2_6.pdf

Román-Jiménez, A. R., Vargas-Hernández, J. J., Baca-Castillo, G. A., Trinidad-Santos, A., & Alarcón-Bustamante, M. P. (2004). Crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 26(89), 19-43.

<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/917/2171>

Sáenz-Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (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-Reyes, J. T., Villaseñor-Ramírez, F.-J., Muñoz-Flores, H. J., Rueda-Sánchez, A., & Prieto-Ruíz, R. J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521784. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>