



DOI: 10.29298/rmcf.v16i88.1526

Artículo de Investigación

Crecimiento de *Quercus durifolia* Seemen en sustratos con turba, corteza, aserrín y fertilizante de liberación controlada

Growth of *Quercus durifolia* Seemen in substrates with peat, bark, sawdust and controlled-release fertilizer

Rosa Elvira Madrid-Aispuro¹, Marina Danaee Cordova-Saucedo², José Ángel Prieto-Ruíz², Arnulfo Aldrete^{1*}, Silvia Salcido-Ruiz², Alberto Pérez-Luna¹

Fecha de recepción/Reception date: 31 de octubre de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 23 de enero de 2025.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: aaldrete@colpos.mx

*Corresponding author; e-mail: aaldrete@colpos.mx

Resumen

La dosis de fertilizante en la producción de plantas en vivero depende del tipo de sustrato empleado, ya que ambos factores interactúan de manera positiva o negativa en los atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas durante esta etapa de crecimiento. El objetivo del presente estudio fue determinar la eficiencia de tres sustratos y dos dosis de fertilizante de liberación controlada (FLC) en el crecimiento en vivero de *Quercus durifolia*. Los componentes de los sustratos (S) evaluados fueron turba de musgo, corteza compostada de pino y aserrín fresco de pino, en las siguientes proporciones: S1 (60-20-20), S2 (50-25-25) y S3 (33-33-33), con dos dosis de fertilizante (7 y 10 g L⁻¹ de Multicote 8™ 18-6-12 de N, P y K). Se determinó que los tres sustratos evaluados mostraron resultados similares estadísticamente; sin embargo, las plantas fertilizadas con 10 g L⁻¹ tuvieron mayor altura, diámetro, biomasa seca y más asignación de biomasa seca en hojas y tallo. Por lo tanto, incluir aserrín fresco de pino combinado con turba y corteza compostada de pino en partes iguales, con dosis de 10 g L⁻¹ permite producir plantas de *Q. durifolia* con características morfológicas de calidad; además, el costo de producción disminuye. Esto es crucial para obtener plantas de calidad para proyectos de reforestación y restauración.

Palabras clave: Asignación de biomasa, calidad de planta, crecimiento, encino, nutrición, sustratos alternativos.

Abstract

Fertilizer dosage in nursery plant production depends on the type of substrate used since during this growth stage, both factors interact positively or negatively on the plant's morphological and physiological attributes. The objective of the present study was to determine the efficiency of three substrates and two doses of controlled-release fertilizer (CRF) on the nursery growth of *Quercus durifolia*. The substrate components (S) evaluated were peat moss,

composted pine bark, and fresh pine sawdust, in the following proportions: S1 (60-20-20), S2 (50-25-25), and S3 (33-33-33), with two doses of fertilizer (7 and 10 g L⁻¹ of Multicote 8™ 18-6-12 N, P and K). It was determined that the three assessed substrates showed statistically similar results; however, plants fertilized with 10 g L⁻¹ had greater height, diameter, dry biomass, and more allocation of dry biomass in leaves and stem. Therefore, the inclusion of fresh pine sawdust combined with peat and composted pine bark in equal parts, with doses of 10 g L⁻¹ allows the production of *Q. durifolia* plants with quality morphological characteristics; this also reduces the cost of production. This is crucial to obtain quality plants for reforestation and restoration projects.

Keywords: Biomass allocation, plant quality, growth, oak, nutrition, alternative substrates.

Introducción

En México, la superficie forestal asciende a 137.8 millones de hectáreas, de las cuales 65.7 millones corresponden a bosques y selvas; 37 % de esa superficie es ocupada por bosques de encino y pino-encino (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2021), en las que habitan 161 taxa del género *Quercus* L.; de ellas, 109 son endémicas (Flores & Romero, 2021). La mayoría de las especies de encino se distribuyen entre 1 200 y 2 800 m de altitud a lo largo del país, excepto en la península de Yucatán (De Jesús et al., 2021).

Los bosques de pino-encino han estado sometidos a una fuerte presión antrópica debido a la extracción forestal excesiva, el pastoreo y el cambio de uso del suelo (Alfaro et al., 2019); esto ha modificado la composición y estructura de los bosques a través de alteraciones ecológicas que dificultan los procesos de regeneración natural de los encinos (Brizuela-Torres et al., 2023).

Existen tres factores decisivos que influyen en la escasez de regeneración natural del encino (Pérez et al., 2013): (I) Baja producción de bellotas, que puede ocurrir cada dos a seis años, (II) Mortalidad de las bellotas por depredación y desecación antes de que germinen, y (III) Bajo vigor de las plantas; lo anterior resulta en que pocas plantas logran crecer en lugares abiertos fuera del dosel de los árboles, ya que

algunas, en etapas juveniles, son tolerantes a cierto nivel de sombra, lo que les permite crecer en bajos niveles de luz (Flores *et al.*, 2021).

Con base en lo anterior, la producción de planta de calidad en vivero de *Quercus durifolia* Seemen, como fuente de materia prima para la reforestación y restauración, es importante para conservar los bosques y recuperar las poblaciones naturales de encino. Sin embargo, la información básica sobre la propagación de plantas de esta especie en vivero es escasa. La mayor parte de los estudios sobre producción de planta forestal en México, especialmente en el uso de sustratos y fertilización, corresponde a coníferas del centro y norte del país (Domínguez *et al.*, 2023). En cambio, para taxa del género *Quercus* bajo el contexto de calidad de planta, solo hay información disponible para *Quercus canbyi* Trel., *Quercus rugosa* Née y *Quercus crassipes* Bonpl. (De Jesús *et al.*, 2021; Venancio *et al.*, 2022; Villalón-Mendoza *et al.*, 2016).

Las prácticas culturales e insumos utilizados durante la fase de producción en vivero contribuyen en los atributos morfológicos y fisiológicos de la planta producida y a su vez, se relacionan con su crecimiento y desarrollo en campo (Aldrete *et al.*, 2024). Los sustratos y la fertilización son dos componentes importantes en la producción de planta de calidad; sin embargo, son los que generan mayor costo, principalmente si son importados (Conafor, 2013).

El uso de sustratos alternativos de bajo costo, como el aserrín fresco y la corteza compostada de pino, han sido evaluados con resultados satisfactorios en la producción de coníferas y latifoliadas en contenedor (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2021; De Jesús *et al.*, 2021; Domínguez *et al.*, 2023; González *et al.*, 2018; Madrid-Aispuro *et al.*, 2020). Además, tienen propiedades físicas y químicas apropiadas para producir planta de calidad (Castro *et al.*, 2019) y son materiales orgánicos locales, económicos y abundantes (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2021).

La fertilización está definida en función del tipo de sustrato utilizado, ambos influyen de manera positiva o negativa en los atributos morfológicos y fisiológicos de las plantas. Por ejemplo, para *Pinus cooperi* C. E. Blanco se recomienda una dosis de 6

g L⁻¹ de fertilizante de liberación controlada (FLC) *Multicote 8*TM para un sustrato compuesto por turba (50 %), perlita (25 %) y vermiculita (25 %) (Martínez-Nevárez et al., 2023); González et al. (2018), para la misma especie, recomiendan 8 g L⁻¹ de *Multicote*TM en una mezcla de sustrato a base de aserrín fresco (50 %), turba (30 %) y corteza compostada (20 %). Lo anterior, porque al considerar el aserrín fresco como componente principal del sustrato, la dosis de fertilizante debe incrementarse, ya que posee una alta relación carbono/nitrógeno (C/N), lo que promueve la competencia por el nitrógeno entre la planta y las bacterias que descomponen el aserrín durante su función como parte del sustrato (Aguilera-Rodríguez et al., 2021; Barrett et al., 2016; González et al., 2018; Madrid-Aispuro et al., 2020).

Los FLC son una alternativa eficaz y técnicamente avanzada para suministrar nutrientes minerales en la cantidad requerida para diversas especies del género *Pinus* L. y en algunos taxa tropicales en las diferentes etapas de crecimiento durante su producción en vivero (Aguilera-Rodríguez et al., 2016; Madrid-Aispuro et al., 2020; Martínez-Nevárez et al., 2023; Vicente-Arbona et al., 2019); los FLC permiten una liberación gradual de nutrientes, lo que optimiza su absorción por parte de las plantas y aumenta la eficiencia del proceso (Camarena-Yupanqui et al., 2024). Aunque se han evaluado distintos esquemas de fertilización con el fin de obtener la dosis adecuada, esta respuesta estará en función del sustrato empleado y de las necesidades de nutrientes de cada especie (Martínez-Nevárez et al., 2023). Por ello, es necesario desarrollar prácticas culturales enfocadas en la propagación de plantas forestales con el uso de insumos económicamente viables y disponibles.

En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar tres mezclas de sustratos a base de aserrín fresco de pino, turba y corteza compostada de pino, con dos dosis de fertilizante de liberación controlada (FLC) en el crecimiento de planta de *Quercus durifolia* en vivero. La hipótesis fue que al menos una mezcla de sustrato y una dosis de FLC tienen un efecto significativo en el crecimiento en vivero de *Quercus durifolia*.

Materiales y Métodos

Área de estudio

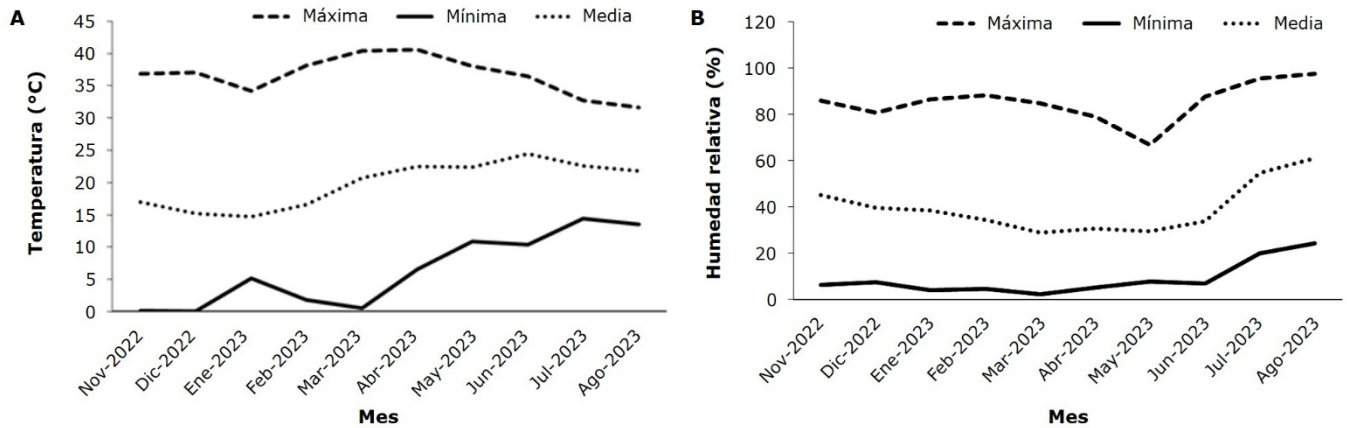
El ensayo se realizó dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), en la ciudad de Durango, Durango, México (24°00'48.3" N y 104°41'10.36" O), a una altitud de 1 870 m.

Producción de planta y tratamientos

La planta creció en vivero durante 10 meses, del 26 de octubre de 2022 al 31 de agosto de 2023. Se utilizaron bellotas de *Quercus durifolia* recolectadas en un rodal natural con vegetación predominante de pino-encino, ubicado en Otinapa, Durango, México (24°03'27" N y 105°00'54" O), a una altitud de 2 397 m. A las bellotas no se les realizó tratamiento pregerminativo alguno, solo se desinfectaron con una solución de agua e hipoclorito de sodio al 10 %, previo a la siembra.

La siembra se realizó en charolas compactas de plástico color negro de 60 cavidades (10×6), de 59 cm de largo, 36 cm de ancho y 13 cm de alto, con un volumen de 200 mL por cavidad; se realizó siembra directa, colocando dos semillas por cavidad. Durante los primeros seis meses, la planta creció en un invernadero cubierto con plástico de polietileno calibre 720 μ , tratado contra rayos ultravioleta; posteriormente, de abril a septiembre, la planta se mantuvo en un área con estructuras metálicas cubiertas con malla sombra de 60 % de retención de luz.

Durante el crecimiento de la planta se registraron las variables microclimáticas temperatura (°C) y humedad relativa (%) con un *data logger* marca *Onset Hobo*® modelo U12-012 (Figura 1A y B).



A = Temperatura; B = Humedad relativa.

Figura 1. Registro mensual de valores máximos, mínimos y medios en el área de crecimiento de *Quercus durifolia* Seemen.

Se evaluaron seis tratamientos derivados de tres mezclas de sustrato con diferente proporción de turba de musgo, corteza compostada de pino y aserrín fresco de pino: S1: 60-20-20, S2: 50-25-25 y S3: 33-33-33, además de dos dosis (7 y 10 g L⁻¹) de FLC *Multicote 8*TM 18-6-12+2Mg+M.E. (Haifa Chemicals Ltd.-Haifa, Israel) de ocho meses de liberación, el cual se incorporó durante la preparación de las mezclas de los sustratos. Se determinaron las propiedades físicas y químicas de las mezclas evaluadas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos evaluados en la producción de planta de *Quercus durifolia* Seemen.

Sustrato	PA	CRA	PT	C/N	pH	CE	CIC
----------	----	-----	----	-----	----	----	-----

(TM-CC-AS)	(%)				(dS m ⁻¹)	(mEq 100 g)	
S1: 60-20-20	25.31	30.15	55.46	37.31	3.88	3.98	70.1
S2: 50-25-25	31.40	24.22	55.62	18.67	4.00	3.57	60.8
S3: 33-33-33	27.18	31.35	58.53	20.56	4.03	3.55	60.4
VR	20-35	25-55	60-80	50-70	5.5-6.5	<1.0	

TM = Turba de musgo; CC = Corteza compostada de pino; AS = Aserrín fresco de pino; PA = Porosidad de aireación; CRA = Capacidad de retención de agua; PT = Porosidad total; C/N = Relación carbono/nitrógeno; CE = Conductividad eléctrica; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; VR = Valores recomendados en sustratos para producir especies forestales en contenedor (Landis *et al.*, 1990, Vol. 2).

Variables morfológicas evaluadas

La planta se evaluó a los diez meses de edad (Figura 2). De cada charola, en forma aleatoria, se extrajeron diez plantas por unidad experimental (40 plantas por tratamiento). A cada planta se le retiró el sustrato con cuidado para evitar perder segmentos finos de la raíz; posteriormente, se midió la altura desde la base del tallo hasta la yema terminal (regla graduada marca *PILOT*[®] modelo RAS-30), el diámetro en la base del tallo (vernier digital *Truper*[®] modelo CAL-6MP), biomasa aérea, radical y total. Para obtener la biomasa se separó la parte aérea (hojas y tallo) del componente raíz, ambas partes fueron colocadas dentro de bolsas de papel *Kraft*, enseguida se pusieron a secar en un horno *Ecoshel*[®] modelo 9024A a 70 °C durante 72 h; posteriormente, se pesaron en una balanza analítica *Ohaus*[®] modelo Pionner PA512. Con los valores anteriores se estimó la proporción de biomasa foliar (*PBF* %; Ecuación 1), la proporción de biomasa de tallo (*PBT* %; Ecuación 2) y la proporción de biomasa radical (*PBR* %; Ecuación 3) (Andivia *et al.*, 2014):



Figura 2. Producción de planta de *Quercus durifolia* Seemen, 10 meses después de la siembra.

$$PBF (\%) = \frac{\text{Peso seco hojas}}{\text{Peso seco total}} \times 100 \quad (1)$$

$$PBT (\%) = \frac{\text{Peso seco del tallo}}{\text{Peso seco total}} \times 100 \quad (2)$$

$$PBR (\%) = \frac{\text{Peso seco radical}}{\text{Peso seco total}} \times 100 \quad (3)$$

Concentración nutrimental foliar

Con base en las hojas de las 40 plantas evaluadas por tratamiento, se formó una mezcla compuesta (seis muestras en total), las cuales se trituraron en un molino y se tamizó en malla de 1.0 mm. El nitrógeno se determinó por el método *Kjeldahl* (Kjeldahl,

1883), el fósforo por análisis colorimétrico complejo amarillo vanadomolibdato (Murphy & Riley, 1962), y el potasio por espectrofotometría de absorción atómica (Mckean, 1993). El contenido de nutrientes se estimó a partir del producto de la concentración (mg g^{-1}) por la biomasa seca aérea (g) (Andivia *et al.*, 2014). El análisis nutrimental del follaje de las plantas se realizó en el Laboratorio del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (Cenid-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3×2 (tres mezclas de sustrato y dos dosis de fertilización), para un total de seis tratamientos derivados de la combinación de ambos factores; cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Con los valores de las variables altura, diámetro, biomasa seca aérea, raíz y total, así como la asignación de biomasa, se les realizaron análisis de varianza con el procedimiento *PROC GLM* de *SAS 9.2*[®] (Statistical Analysis System [SAS] Institute, 2009). Para las variables donde existieron diferencias significativas entre tratamientos, se hicieron pruebas de comparación múltiple de medias por el método de *Tukey* ($p \leq 0.05$). En todos los casos se comprobó el supuesto de normalidad y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba *Shapiro-Wilk* y *Levene* (Contreras-Cruz, 2023), respectivamente.

Resultados y Discusión

Interacción de los sustratos y dosis de fertilizante en el crecimiento de las plantas

Los valores promedio de las variables evaluadas fueron estadísticamente iguales en los tres sustratos evaluados; en cambio, para el factor fertilización, en la dosis alta (10 g) sobresalieron las variables de altura, diámetro, biomasa seca aérea y de raíz. La interacción sustrato-dosis de fertilización influyó significativamente en las variables de altura, diámetro y biomasa seca aérea ($p < 0.05$). En los sustratos S1 (60-20-20) y S2 (50-25-25) con 10 g L⁻¹ de fertilizante, se produjeron las plantas con valores mayores, mientras que en ambos sustratos con la dosis de 7 g L⁻¹ ocurrió lo contrario. En el sustrato S3 (33-33-33), las plantas tuvieron valores similares en ambas dosis de fertilizante (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores medios, error estándar y significancia de las variables morfológicas evaluadas en plantas de *Quercus durifolia* Seemen.

Factor	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa seca (g)		
			Aérea	Raíz	Total
Sustrato					
S1	29.3±0.8 a	5.1±0.1 a	2.5±0.1 a	2.8±0.1 a	5.3±0.2 a
S2	28.0±0.9 a	4.9±0.2 a	2.5±0.1 a	3.0±0.2 a	5.5±0.2 a
S3	27.9±0.9 a	5.1±0.1 a	2.4±0.1 a	3.0±0.1 a	5.4±0.2 a
Valor p	0.2475 ns	0.4365 ns	0.6871 ns	0.3557 ns	0.7735 ns
Dosis de fertilización					
7 g L⁻¹	26.0±0.8 b	4.8±0.1 b	2.3±0.1 b	3.1±0.2 a	5.4±0.2 a
10 g L⁻¹	30.8±0.9 a	5.3±0.1 a	2.7±0.1 a	2.8±0.1 b	5.5±0.2 a
Valor p	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0166*	0.5804 ns

Interacción					
S1+7 g L⁻¹	25.5±0.8 c	4.8±0.1 bc	2.2±0.1 b	2.9±0.1 a	5.1±0.2 a
S1+10 g L⁻¹	33.0±0.9 a	5.4±0.1 a	2.8±0.1 a	2.7±0.1 a	5.6±0.2 a
S2+7 g L⁻¹	25.5±0.8 c	4.6±0.2 c	2.4±0.12 b	3.2±0.2 a	5.6±0.3 a
S2+10 g L⁻¹	30.5±1.1 ab	5.3±0.1 ab	2.6±0.11 ab	2.7±0.1 a	5.4±0.2 a
S3+7 g L⁻¹	27.0±0.9 bc	4.9±0.1 abc	2.3±0.11 b	3.1±0.1 a	5.4±0.2 a
S3+10 g L⁻¹	28.9±0.9 bc	5.2±0.1 ab	2.6±0.12 ab	2.9±0.1 a	5.4±0.2 a
Valor p	0.0001***	0.0002**	0.0005**	0.0977 ns	0.6322 ns

S1 (60-20-20), S2 (50-25-25) y S3 (33-33-33) de TM-CC-AS (TM = Turba de musgo, CC = Corteza compostada de pino, AS = Aserrín fresco de pino), respectivamente; p = Probabilidades límites en ANOVA; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$; ns = No significativo. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$).

Con base en los resultados, la planta producida tuvo características morfológicas de calidad en todos los tratamientos empleados; Domínguez *et al.* (2023) recomiendan que para especies de latifoliadas, al llevarse a campo, tengan una altura mayor a 15 cm, lo cual sucedió en todos los casos para este estudio; sin embargo, las plantas más altas se produjeron cuando se aplicaron 10 g L⁻¹ de FLC. En ese sentido, Niemiera *et al.* (2014) indican que las plantas producidas en sustratos a base de aserrín fresco requieren más fertilizante para igualar el crecimiento de las plantas producidas en sustratos orgánicos, como turba y corteza. De Jesús *et al.* (2021) citan valores más bajos a los del presente estudio para *Quercus rugosa* (alturas de 15.9 a 24.4 cm) a los 11 meses de edad, producidas en una mezcla de sustrato de vermiculita (36 %), agrolita (16 %) y turba de musgo (48 %) con 4 kg m⁻³ de fertilizante *Osmocote*[®] (15-9-12, de NPK, de 5-6 meses de liberación); además, aplicaron fertilizante hidrosoluble (*Peters*[®]) en cada etapa de crecimiento para complementar su nutrición; sus resultados son atribuibles a que la dosis de FLC y el tiempo de liberación de los nutrientes fue menor con relación a los usados en el ensayo con *Q. durifolia* (ocho meses de liberación).

De acuerdo con Pinchot et al. (2018), el tamaño inicial de las plantas es determinante para la supervivencia en campo, como lo muestran para *Quercus rubra* L., cuyas plantas con más altura y diámetro tuvieron mayor supervivencia y capacidad competitiva en un ambiente seco, esto en Pensilvania, EE. UU. Además, individuos más grandes pueden rebrotar después del daño ocasionado por la herbivoría (Clark et al., 2015); esa interacción es común durante el periodo vegetativo, debido a los daños que ocasiona la fauna en la regeneración de encinos (Perea et al., 2014).

En el diámetro se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factor dosis de fertilización y la interacción sustrato-dosis de fertilización, con resultados más favorables en las interacciones S1+10 g L⁻¹, S2+10 g L⁻¹ y S3+10 g L⁻¹ (Cuadro 2). Conforme se aumentó la dosis (10 g L⁻¹), las plantas mostraron mayor crecimiento en diámetro. Venancio et al. (2022) en *Quercus crassipes* registraron valores inferiores a los del presente estudio (3.6 a 4.3 mm) para una mezcla de sustrato a base de composta de corteza de pino (60 %), vermiculita (30 %) y perlita (10 %) a la cual se le añadió 3 kg m⁻³ de FLC *Osmocote*®; dicha fertilización se complementó con fertilizante hidrosoluble *Peters*®. Los valores inferiores pueden deberse a que la planta tenía siete meses de edad; además, se aplicó una dosis baja de fertilizante de liberación controlada. En el estudio con *Q. durifolia* no fue necesario aplicar fertilizantes hidrosolubles, porque las dosis de FLC fueron altas y suficientes para favorecer el crecimiento apropiado de las plantas; cuando se utilizan dosis bajas de FLC es necesario complementar con fertilizantes hidrosolubles, ya que en los FLC el periodo de liberación de nutrientes varía (meses), por efecto de la temperatura y los sustratos empleados (sustratos orgánicos) (Madrid-Aispuro et al., 2020). También, hay que considerar que cada especie responde de manera diferente a la fertilización y los sustratos empleados.

La fertilización es determinante en la producción de plantas de encino en vivero, ya que se obtiene mejor crecimiento en diámetro, lo que repercutirá en una mayor capacidad competitiva con relación a otras especies de rápido crecimiento en los sitios

donde se establezcan, como lo señalan Pinchot *et al.* (2018). Esto lo confirman Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo (2004), quienes plantaron *Q. rugosa* con dos grosores de diámetro; las plantas con diámetro de 2 a 4 mm lograron mayor supervivencia (63 %), mientras que las plantas con diámetro menor a 2 mm no sobrevivieron. Asimismo, Villalón-Mendoza *et al.* (2016) recomiendan para *Quercus canbyi* diámetros superiores para la reforestación en zonas áridas y semiáridas, porque su lignificación es mejor y la densidad radical de las plantas es mayor.

En biomasa seca aérea se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factor dosis de fertilización y la interacción sustrato-dosis de fertilización, con resultados más favorables en las plantas fertilizadas con dosis de 10 g L⁻¹ (2.8, 2.6 y 2.6 g, respectivamente), independientemente del sustrato usado; sin embargo, en las variables biomasa seca radical y total no existieron diferencias significativas en los factores evaluados, ni en la interacción. Villar-Salvador *et al.* (2012) documentan que las plantas fertilizadas con altas dosis suelen sobrevivir y crecer más después de la plantación que las poco fertilizadas, porque tienen reservas de nutrientes minerales en sus tejidos; recursos necesarios para su crecimiento inicial. Esto lo confirman Sáenz *et al.* (2014), quienes indican que la biomasa de la planta tiene una alta correlación con la supervivencia en campo.

La dosis alta de fertilización influyó en el crecimiento de las plantas al asignar más recursos a la biomasa seca aérea. Los resultados de los tratamientos con dosis de fertilización de 10 g L⁻¹ (5.5 g peso seco total, 2.7 g peso seco aéreo y 2.8 g peso seco radical, en promedio) fueron superiores a los citados por De Jesús *et al.* (2021) en *Quercus rugosa* (4.3 g peso seco total, 2.4 g peso aéreo y 1.9 g peso radical) producido en un sustrato a base de vermiculita (36 %), perlita (16 %) y turba de musgo (48 %), al cual se le añadieron 4 kg m⁻³ de sustrato de FLC *Osmocote*®. Venancio *et al.* (2022) obtuvieron valores inferiores en *Q. crassipes* (2.8 g peso seco total, 1.3 g peso aéreo y 1.5 g peso radical) en una mezcla a base de composta de corteza de pino (60 %), vermiculita (30 %) y perlita (10 %) con 3 kg m⁻³ de FLC *Osmocote*®; los valores bajos

pueden deberse a que la planta tenía siete meses de edad y se aplicó una dosis baja de fertilizante de liberación controlada.

Estos resultados contrastantes podrían responder a la dosis de fertilizante empleada, que fue mayor en el presente estudio (7 y 10 g L⁻¹), lo cual se reflejó en un crecimiento aéreo superior; asimismo, los sustratos utilizados (aserrín fresco y corteza compostada de pino) requieren más dosis de fertilización durante el cultivo, porque existe mayor inmovilización de nitrógeno soluble (Aguilera-Rodríguez et al., 2021); además, no fue necesario complementar con fertilización hidrosoluble, como señalan Madrid-Aispuro et al. (2020) quienes sugieren complementar con fertilizante hidrosoluble, cuando la dosis de fertilizante de liberación controlada es baja.

El factor sustrato influyó significativamente ($p < 0.05$) en la proporción de biomasa del tallo, al respecto destacó el tratamiento S1. La dosis de fertilización incidió en la proporción de biomasa de hojas, tallo y raíz; sobresalió la dosis de 10 g L⁻¹, excepto en la proporción de raíz. Referente a la interacción sustrato-dosis de fertilización en la proporción de biomasa de tallo y raíz existieron diferencias significativas, con la mejor interacción en S1+10 g L⁻¹, donde se asignó mayor cantidad de biomasa al tallo, pero se desarrolló menor cantidad de biomasa radical. Tal respuesta fue contraria en los tratamientos con dosis de fertilizante de 7 g L⁻¹, en los cuales las plantas asignaron menor porcentaje de biomasa al tallo, pero más de 50 % a la biomasa de la raíz, y la biomasa foliar fue similar en todos los tratamientos (25.5 a 28.6 %) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Patrones de asignación de biomasa aérea y radical en plantas de *Quercus durifolia* Seemen en respuesta a mezclas de sustratos y fertilizantes de liberación controlada.

Factor	Proporción de hojas (%)	Proporción de tallo (%)	Proporción de raíz (%)
Sustrato			
S1	27.4±0.9 a	20.4±0.8 a	52.2±1.4 a

S2	27.1±0.8 a	19.1±0.7 ab	53.8±1.1 a
S3	27.0±1.0 a	18.2±0.8 b	54.8±1.2 a
Valor p	0.9043 ns	0.0171*	0.1272 ns
Dosis de fertilización			
7 g L⁻¹	25.8±1.1 b	17.5±0.7 b	56.7±1.4 a
10 g L⁻¹	28.6±0.8 a	21±0.8 a	50.5±1.1 b
Valor p	0.0004**	0.0001***	0.0001***
Interacción			
S1+7 g L⁻¹	26.3±1.2 a	17.8±0.6 c	55.9±1.7 a
S1+10 g L⁻¹	28.6±0.7 a	23.0±0.9 a	48.4±1.2 b
S2+7 g L⁻¹	25.7±0.9 a	16.9±0.7 c	57.4±1.1 a
S2+10 g L⁻¹	28.5±0.7 a	21.3±0.7 ab	50.2±1.1 b
S3+7 g L⁻¹	25.5±1.1 a	17.7±0.7 c	56.8±1.3 a
S3+10 g L⁻¹	28.6±1.0 a	18.7±0.8 bc	52.7±1.1 ab
Valor p	0.0246*	0.0001***	0.0001***

S1 (60-20-20), S2 (50-25-25) y S3 (33-33-33) de TM-CC-AS (TM = Turba de musgo, CC = Corteza compostada de pino, AS = Aserrín fresco de pino), respectivamente; p = Probabilidades límites en ANOVA; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$; ns = No significativo. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$).

Resultados similares fueron registrados por Andivia *et al.* (2014) para *Quercus ilex* L.: con dosis baja de nitrógeno, las plantas asignaron mayor cantidad de biomasa a las raíces (80 %), con relación al tallo (5 %) y brotes (15 %). De acuerdo con Villar *et al.* (2008), la planta invierte sus recursos de forma diferente entre los órganos, es decir, al tener mayor cantidad de biomasa en hojas, el área para realizar la fotosíntesis aumenta y es mayor la asimilación de carbono, aunque esto las hace más susceptibles a la muerte por sequía en edades tempranas; por otra parte, a mayor asignación de biomasa a las raíces, las plantas captan más agua y nutrientes del suelo. En el estudio que aquí se documenta, las plantas en la mayoría de los tratamientos destinaron más de 50 % de biomasa a la raíz, lo que podría tener

algunas ventajas para incrementar su área de absorción de agua, principalmente en lugares donde existe escasez de humedad y nutrientes (Dey et al., 2008).

Finalmente, la fertilización fue clave en la asignación de biomasa, pues varió según la cantidad de fertilizante aplicada; la dosis baja generó mayor desarrollo radical y del tallo; en ese sentido, Aldrete et al. (2024) indican que una planta de calidad debe mantener una proporción equilibrada de la parte aérea con el tamaño del sistema radical y el número de hojas tiene que ser suficiente para maximizar la absorción de luz solar, pero sin exceder el gasto energético asociado al proceso de transpiración.

Concentración y contenido de N, P y K en el follaje

En todos los tratamientos, el porcentaje de N, P y K estuvo dentro de los intervalos recomendados por Jacobs y Landis (2014) para especies tropicales producidas en contenedor. En general, el aumento de la dosis de fertilizante generó más contenido proporcional de nutrientes en el follaje de las plantas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentración y contenido de N, P y K en el follaje de plantas de *Quercus durifolia* Seemen producidas en vivero.

Tratamiento	Concentración (%)			Contenido (mg planta ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K
S1+7 g L⁻¹	2.35	0.13	1.11	30.88	1.71	14.59
S1+10 g L⁻¹	2.32	0.15	1.30	36.45	2.36	20.43
S2+7 g L⁻¹	1.85	0.13	1.25	26.70	1.88	18.04
S2+10 g L⁻¹	2.36	0.14	1.21	35.71	2.12	18.31

S3+7 g L⁻¹	2.02	0.16	1.28	27.24	2.16	17.26
S3+10 g L⁻¹	2.31	0.12	1.32	35.20	1.83	20.11
VR	1.5-3.5	0.10-0.25	0.60-1.80			

S1 (60-20-20), S2 (50-25-25), S3 (33-33-33) de TM-CC-AS (TM = Turba de musgo, CC = Corteza compostada, AS = Aserrín fresco de pino), respectivamente. VR = Valores recomendados (Jacobs & Landis, 2014).

De Jesús *et al.* (2021) consignaron valores de 1.3, 0.15 y 0.97 de N, P y K en plantas de *Quercus rugosa* producidas en un sustrato compuesto por vermiculita, perlita y turba de musgo, al que añadieron 4 kg m⁻³ de FLC *Osmocote*[®] y fertilizante hidrosoluble *Peters*[®]. En este caso, se obtuvieron valores superiores de nitrógeno (1.85 a 2.36 %) y potasio (1.11 a 1.32 %), mientras que en fósforo fueron similares (0.12 a 0.16 %); hay que mencionar que los sustratos utilizados fueron orgánicos y no se aplicó fertilizante hidrosoluble.

En todos los tratamientos, las dosis de fertilizantes utilizados se pueden considerar como adecuadas para producir plantas con dimensiones de calidad. Grossnickle e Ivetić (2022) sugieren que, con la fertilización a dosis altas, las plantas tendrán reservas de nutrientes, lo cual mejora el estado fisiológico, el crecimiento y la supervivencia después de la plantación, sobre todo en suelos de baja fertilidad y competencia con malezas, aunque también existe el riesgo de promover la proliferación de hongos del complejo *damping-off* (García, 2022).

Conclusiones

Con el sustrato compuesto por turba (60 %), corteza compostada (20 %) y aserrín fresco (20 %) con 10 g L⁻¹ de FLC, se producen plantas con atributos adecuados en términos de altura, diámetro y biomasa seca aérea; además, se asigna mayor cantidad

de biomasa al tallo. En la mezcla de sustrato en partes iguales de turba, corteza compostada y aserrín fresco (33-33-33) con 10 g L⁻¹ de fertilizante, también se obtienen plantas con características morfológicas de calidad. Estos resultados sugieren que el aserrín fresco de pino, incluido hasta en 33 % en el sustrato, es una alternativa viable para producir planta de *Quercus durifolia* en vivero. Sin embargo, es necesario continuar con la investigación sobre el uso de sustratos alternativos y las dosis de fertilización debido a la escasez de información disponible para la propagación de especies del género *Quercus* en vivero. Esto es crucial para obtener plantas de calidad destinadas a proyectos de reforestación y restauración con *Quercus durifolia*, especie que se distribuye principalmente en zonas de transición de la Sierra Madre Occidental.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la beca otorgada al primer autor, derivada de la convocatoria "Estancias Posdoctorales por México 2022 (3)".

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rosa Elvira Madrid-Aispuro: diseño y establecimiento del experimento, análisis estadístico de datos y redacción del manuscrito; Marina Danaee Cordova-Saucedo: establecimiento del experimento, toma y captura de datos; José Ángel Prieto-Ruíz: diseño del

experimento, establecimiento y supervisión del experimento, revisión del manuscrito; Arnulfo Aldrete: diseño del experimento, supervisión y revisión del manuscrito; Silvia Salcido-Ruiz: establecimiento y supervisión del experimento, revisión del manuscrito; Alberto Pérez-Luna: supervisión del experimento y revisión del manuscrito.

Referencias

- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez-Trinidad, T., y Ordáz-Chaparro, V. M. (2016). Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia*, 50(1), 107-118. <https://scielo.org.mx/pdf/agro/v50n1/1405-3195-agro-50-01-107.pdf>
- Aguilera-Rodríguez, M., Aldrete, A., Trejo-Téllez, L. I., y Ordáz-Chaparro, V. M. (2021). Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham. *Agrociencia*, 55(8), 719-732. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2664/2107>
- Aldrete, A., Sánchez V., J. R., Aguilera R., M., Cibrián T., D., y García D., S. E. (Eds.). (2024). *Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. <https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=detalle&nt=412918>
- Alfaro R., T., Martínez-Vilalta, J., & Retana, J. (2019). Regeneration patterns in Mexican pine-oak forests. *Forest Ecosystems*, 6, Article 50. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0209-8>
- Andivia, E., Fernández, M., & Vázquez-Piqué, J. (2014). Assessing the effect of late-season fertilization on Holm oak plant quality: Insights from morpho-nutritional characterizations and water relations parameters. *New Forests*, 45, 149-163. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9397-1>
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems—A review. *Scientia Horticulturae*, 212, 220-234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>

Brizuela-Torres, D., Villavicencio-García, R., Ruíz-Corral, J. A., & Cuervo-Robayo, A. P. (2023). Effects of climate change on the potential distribution of a dominant, widely distributed oak species, *Quercus candicans*, in Mexico. *Atmósfera*, 37, 455-473. <https://doi.org/10.20937/atm.53182>

Camarena-Yupanqui, R. C., Orellana-Mendoza, E., Bernaola-Paucar, R. M., Ames-Martínez, F. N., Loardo-Tovar, H., & Quispe-Melgar, H. R. (2024). Seedling production of *Retrophyllum rospigliosii* in nurseries and potential reforestation areas using modeling techniques. *Forests*, 15(12), 2179. <https://doi.org/10.3390/f15122179>

Castro G., S. L., Aldrete, A., López U., J., y Ordaz C., V. M. (2019). Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques*, 25(2), Artículo e2521520. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521520>

Clark, S. L., Schlarbaum, S. E., & Schweitzer, C. J. (2015). Effects of visual grading on Northern red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings planted in two Shelterwood stands on the Cumberland Plateau of Tennessee, USA. *Forests*, 6(10), 3779-3798. <https://doi.org/10.3390/f6103779>

Comisión Nacional Forestal. (2013). *Evaluación de costos de producción de planta en viveros forestales que abastecen proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6539Evaluaci%c3%b3n%20de%20costos%20de%20producci%c3%b3n%20de%20planta%20en%20viveros%20forestales%20que%20abastecen%20PFC.pdf>

Comisión Nacional Forestal. (2021). *Estado que guarda el sector forestal en México. Bosques para el bienestar social y climático*. Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7825El%20Estado%20que%20guarda%20el%20Sector%20Forestal%20en%20M%c3%a9xico%202020.pdf>

Contreras-Cruz, L. F. (2023). *Diseños experimentales aplicados a la agronomía usando R y SAS*. Universidad Autónoma Chapingo. https://fitotecnia.chapingo.mx/wp-content/uploads/2023/03/Libro_Disenos_Experimentales-2023.pdf

- De Jesús A., F., Ignacio H., R., Rodríguez T., D. A., & Mohedano C., L. (2021). *Quercus rugosa* Née seedling quality in a forest nursery. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 147-167. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.967>
- Dey, D. C., Jacobs, D., McNabb, K., Miller, G., Baldwin, V., & Foster, G. (2008). Artificial regeneration of major oak (*Quercus*) species in the Eastern United States—A review of the literature. *Forest Science*, 54(1), 77-106. <https://htirc.org/wp-content/uploads/2016/06/Deyetal.2008-min.pdf>
- Domínguez L., A., Aguilera R., M., Espinosa Z., S., Aldrete, A., Wong V., A., y Pérez De la O, N. B. (2023). Sustratos y fertilización para producir planta de *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en charolas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(77), 56-75. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i77.1332>
- Flores, A., y Romero G., J. O. (2021). Especies del género *Quercus*, su distribución y volumen de madera en Tlaquilpa, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64), 146-159. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.797>
- Flores R., A. G., Flores G., J. G., González E., D. R., Gallegos R., A., Zarazúa V., P., Mena M., S., Lomelí Z., M. E., y Ruíz G., E. (2021). Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 3-25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>
- García F., V. (2022). *Efecto del riego y la fertilización en la prevención y ataque de Fusarium en vivero* [Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo]. Repositorio Colegio de Postgraduados. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/5005/Garcia_Flores_V_MC_Ciencias_Forestales_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- González O., M. M., Prieto R., J. Á., Aldrete, A., Hernández D., J. C., Chávez S., J. A., y Rodríguez L., 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), 203-226. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>

- Grossnickle, S. C., & Ivetić, V. (2022). Root system development and field establishment: effect of seedling quality. *New Forests*, 53, 1021-1067. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- Jacobs, D. F., & Landis, T. D. (2014). Plant nutrition and fertilization. In K. M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, & R. K. Dumroese (Edits.). *Tropical nursery manual: A guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants* (pp. 233-252). United States Department of Agriculture, Forest Service. https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/wo/wo_ah732.pdf
- Kjeldahl, J. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoff in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22, 366-382. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). *The Container Tree Nursery Manual* (Vol. 2.) *Containers and growing media*. United States Department of Agriculture. <https://rngr.net/publications/ctnm/volume-2>
- Madrid-Aispuro, R. E., Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J. A., & Mexal, J. G. (2020). Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.3390/F11010071>
- Martínez-Nevárez, L. E., Prieto-Ruíz, J. Á., Sigala-Rodríguez, J. Á., García-Rodríguez, J. L., Martínez-Reyes, M., Carrillo-Parra, A., y Domínguez-Calleros, P. A. (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, Artículo e1707. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1707>
- Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodologías*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://cgspace.cgiar.org/items/6857daab-5cdd-4ab5-9726-161eb7cbe79d>
- Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

- Niemiera, A. X., Taylor, L. L., & Shreckhise, J. H. (2014). Urea hydrolysis in pine tree substrate is affected by urea and lime rates. *HortScience*, 49(11), 1437–1443. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.11.1437>
- Perea, R., San Miguel, A., y Gil, L. (2014). Interacciones planta-animal en la regeneración de *Quercus pyrenaica*: ecología y gestión. *Ecosistemas*, 23(2), 18-26. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54031601004.pdf>
- Pérez L., P., López B., F., García O., F., Cuevas-Reyes, P., y González-Rodríguez, A. (2013). Procesos de regeneración natural en bosques de encinos: factores facilitadores y limitantes. *Biológicas*, 15(Especial 1), 18-24. <https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=148>
- Pinchot, C. C., Hall, T. J., Saxton, A. M., Schlarbaum, S. E., & Bailey, J. K. (2018). Effects of seedling quality and family on performance of Northern red oak seedlings on a xeric upland site. *Forests*, 9(6), 351. <https://doi.org/10.3390/f9060351>
- Ramírez-Contreras, A., y Rodríguez-Trejo, D. A. (2004). Efecto de calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(1), 5-11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62910101>
- Sáenz R., J. T., Muñoz F., H. J., Pérez D., C. M. Á., Rueda S., A., y Hernández R., 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://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n26/v5n26a8.pdf>
- Statistical Analysis System Institute. (2009). SAS Ver. 9.2 [Software]. SAS Institute Inc. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=590544>
- Venancio N., R., Rodríguez T., D. A., Mohedano C., L., y Sánchez M., E. A. (2022). Contenedores y calidad de planta para *Quercus crassipes* Bonpl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(69), 201-211. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.966>
- Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., y Villanueva-Morales, A. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base

de aserrín. *Madera y Bosques*, 25(2), Artículo e2521784.
<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521784>

Villalón-Mendoza, H., Ramos-Reyes, J. C., Vega-López, J. A., Marino, B., Muños-Palomino, M. A., y Garza-Ocañas, F. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46-52. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/250>

Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., y Marañón, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En F. Valladares R. (Coord.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 193-230). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y Organismo Autónomo de Parques Nacionales. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8349441>

Villar-Salvador, P., Puértolas, J., Cuesta, B., Peñuelas, J. L., Uscola, M., Heredia-Guerrero, N., & Rey B., J. M. (2012). Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, 43, 755-770. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>



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.