



Calidad de planta de *Quercus rugosa* Née en vivero *Quercus rugosa* Née seedling quality in a forest nursery

Francisca De Jesús Albino¹, Rosalina Ignacio Hernández¹, Dante Arturo Rodríguez Trejo^{1*} y Leopoldo Mohedano Caballero¹

Abstract

Mexico is the world's richest country in *Quercus* species, but there is very scarce research on how to produce it in forest nurseries as well as in seedling quality indicators. The objective was to establish seedling morphological, physiological and root growth potential quality indicators, and to determine the best container size to produce the species in the nursery in a randomized blocks experimental design. Were measured morphological, physiological (nutrient concentration, hydric stress) and was performed a root growth potential test. The big containers produced plant with the highest caliper (4.5 mm), height (24.4 cm), total dry weight (4.3 g); as well as Dickson index (0.6) and slenderness coefficient (5.7), without differences with the medium size container but higher than the small one. No differences were found for the shoot/root ratio (average of 1.4). Neither for the foliar nutrient concentration with the following averages: N (1.3 %), P (0.15 %), K (1 %), Ca (0.67 %), Mg (0.45 %), Fe (88.9 ppm), Cu (12 ppm), Zn (104.7 ppm), Mn (102 ppm) and B (55 ppm). There were no differences among treatments for hydric stress, but there were towards time: 0.58 MPa (3 d), 0.89 MPa (7 d) and 2.74 MPa (11 d). The plant from bigger containers emitted more new roots (average of 65.7) and is better for reforestation. The seedling quality indicators obtained in this study may be useful for the studied species and for others of the genus.

Key words: Containers, seedling quality indicators, seedling production, *Quercus rugosa* Née, root, tree-forest nurseries.

Resumen

México reúne más especies de *Quercus* que cualquier otro país en el mundo; sin embargo, casi no hay investigaciones sobre su producción de planta en vivero, ni de indicadores de calidad. El objetivo del presente estudio fue contribuir al conocimiento de la calidad de planta de *Q. rugosa*, mediante la obtención de indicadores morfológicos, fisiológicos, prueba de crecimiento potencial de raíz y establecer el tamaño de contenedor adecuado para producirla en vivero. Bajo un diseño experimental de bloques al azar, se midieron variables morfológicas, fisiológicas (concentración nutrimental, tensión hídrica) y se hizo la prueba de crecimiento potencial de raíz. Los contenedores grandes produjeron planta con mayores ($p < 0.05$): diámetro (4.5 mm), altura (24.4 cm), peso seco total (4.3 g); así como índice de Dickson (0.6) y coeficiente de esbeltez (5.7), sin diferencias con el contenedor mediano, pero superiores al pequeño. No hubo diferencias para la relación peso seco aéreo/peso subterráneo (promedio de 1.4). Tampoco las hubo para concentración nutrimental foliar, con medias: N (1.3 %), P (0.15 %), K (1 %), Ca (0.67 %), Mg (0.45 %), Fe (88.9 ppm), Cu (12 ppm), Zn (104.7 ppm), Mn (102 ppm) y B (55 ppm). Sin diferencias entre tratamientos para tensión hídrica, aunque sí a través del tiempo: 0.58 MPa (3 d), 0.89 MPa (7 d) y 2.74 MPa (11 d). La planta en contenedores grandes emitió más raíces nuevas (media de 65.7) y es la más apropiada para reforestación. Los indicadores de calidad obtenidos pueden ser útiles para la especie estudiada y para otras del género.

Palabras clave: Contenedores, indicadores de calidad de planta, producción de planta, *Quercus rugosa* Née, raíz, viveros forestales.

Fecha de recepción/Reception date: 14 de noviembre de 2020
Fecha de aceptación/Acceptance date: 24 de mayo de 2021

¹Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: dantearturo@yahoo.com

Introducción

México es un país megabiodiverso debido a su ubicación geográfica y variación fisiográfica y climática. Como parte de esta biodiversidad, se registran 170 especies de encinos que lo definen como el país con mayor riqueza del género *Quercus* del planeta, seguido por China con 150; mientras que, a nivel mundial hay 450 especies (Zavala, 2007). En el territorio nacional, los encinos habitan zonas templado-frías, semiáridas y tropicales, además están presentes en todos los estados, excepto Yucatán. El género se desarrolla en áreas con precipitación media anual de entre 350 a 2 000 mm, de cero a nueve meses de sequía y altitudes de 0 a 3 500 m. Forma masas puras (de especies del género) o mezcladas, principalmente con pinos (Zavala, 1995, 2003; Rzedowski, 2006). En la república mexicana hay 9 518 561 ha con bosques de latifoliadas, principalmente de *Quercus*, y 14 499 659 000 ha de coníferas y latifoliadas, la mayoría de *Pinus-Quercus* (UACH-Semarnap, 1999).

Estos bosques proveen servicios ambientales, como captura de carbono y agua, prevención de erosión y enriquecimiento del suelo con materia orgánica, y alojan o son matriz para una gran riqueza de especies de plantas y fauna silvestre, como ardillas, aves, avispa, abejas, moscas, escarabajos, orquídeas, líquenes, bromelias, helechos y trepadoras (Arizaga *et al.*, 2009).

Las comunidades rurales utilizan los encinos para hacer carbón, y su madera se emplea para construir viviendas, muebles, implementos agrícolas, elaboración de artesanías, para leña y otros usos. Las bellotas de varios taxones se destinan a la alimentación de ganado. En la industria, con la madera de muchas especies de encinos se fabrican mangos para herramientas, muebles y duelas, entre otros productos. Los pastizales asociados a diversos encinares y bosques de pino-encino tienen importancia ganadera (Arizaga *et al.*, 2009).

Quercus rugosa Née es uno de los encinos más ampliamente distribuidos en el país. Se le encuentra en 23 entidades federativas, entre los 1 100 y 3 000 msnm. Es un

árbol de 8 a 30 m de altura, con diámetro normal de 10 a 80 cm, incluso mayores, amplia copa redondeada y crecimiento lento. Es perennifolio o brevideciduo, florece de marzo-junio y fructifica de octubre-febrero. Se utiliza para carbón, leña, cabos, pilotes y durmientes; en algunas zonas su fruto se usa como sustituto de café (Vázquez *et al.*, 1999; Arizaga *et al.*, 2009; Conabio, s/f).

Para tener éxito en el establecimiento de plantaciones, ya sea con motivos de reforestación, restauración o uso comercial la probabilidad de supervivencia en campo aumenta al incorporar plantas de calidad; las cuales poseen ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que les permiten establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de plantación (aclimatizarse) (Rodríguez, 2008; Prieto *et al.*, 2009).

En México cobra cada vez mayor importancia la producción en vivero de plantas de calidad, para aumentar la supervivencia en campo y reducir los costos de reemplazo. Sin embargo, esta información se concentra, principalmente, en especies de pinos debido a su importancia forestal y económica (Escobar-Alonso y Rodríguez, 2019). A pesar de que el género *Quercus* es tan relevante ecológicamente como *Pinus*, no tiene la misma importancia económica, por lo cual ha sido menos estudiado.

Con base en la carencia de la información referida, los objetivos del presente estudio consistieron en contribuir al conocimiento de la calidad de planta de *Q. rugosa*, mediante la obtención de indicadores morfológicos, fisiológicos, prueba crecimiento potencial de raíz y establecer el tamaño de contenedor más conveniente para producir la especie en vivero.



Materiales y Métodos

Producción de planta

La producción de planta se hizo en el vivero forestal de la División de Ciencias Forestales (Dicifo) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), situado en el Estado de México. Se localiza en los 19°29'46" N y 98°52'14" O, a una altitud de 2 250 m. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973), el clima en la zona del vivero corresponde a un templado subhúmedo C (W_o) W_b (i') g, con régimen de lluvias en verano, poca variación térmica, temperatura media anual de 17.1 °C, máxima promedio de 23.5 °C y mínima promedio de 6.3 °C, así como una precipitación media anual de 686 mm.

El sustrato utilizado consistió en una mezcla de vermiculita (0.114 m³ = 36 %), agrolita (0.05 m³ = 16 %) y turba de musgo (0.15 m³ = 48 %). Se probaron tres capacidades diferentes de contenedor: grandes de 210 cm³, color negro, rígidos, sección transversal circular, cinco perforaciones de drenaje, altura de 14 cm y diámetro superior de 5 cm, 54 cavidades por charola; medianos de 135 cm³, color negro, de polipropileno, semi-rígidos, sección transversal octagonal, una perforación de drenaje al fondo, 12 cm de altura y 5 cm de diámetro superior, 50 cavidades por charola; y pequeños de 93 cm³ -V93-, color negro, rígidos, sección transversal circular, 9 cm de altura y 4 cm de diámetro superior, una perforación de drenaje, 40 cavidades por charola. Se agregó el equivalente a 4 kg m⁻³ de fertilizante granular *Osmocote*® (formulación 15-9-12, de N, P₂O₅, K₂O, 5-6 meses de liberación).

La siembra se realizó en octubre de 2010, con un total de 2 694 semillas en 57 charolas, para producir planta suficiente para todas las pruebas. En cada contenedor se colocó una semilla a una profundidad de 1 cm. El ápice de la nuez, por donde emerge la radícula, fue centrado en la maceta para favorecer el desarrollo simétrico de la raíz. Las charolas se colocaron en un invernadero tipo túnel; se aplicó inóculo micorrízico: en una cubeta con 5 L de agua se disolvieron 50 g del inóculo de *Pisolithus*

tinctorius (Pers.) Coker et Couch (*Ecto-rhyza*™, *Plant Health Care* de México). Al mismo tiempo, se agregó *Trichoderma harzianum* Rifal. (cepa T-22, *Plant Health Care* de México) como hongo antagónico de fitopatógenos.

Las etapas de cultivo, definidas primordialmente por fertilización y riego, como se describe en los siguientes párrafos tuvieron la siguiente duración: establecimiento, octubre y noviembre de 2010; crecimiento I, noviembre y diciembre de 2011; endurecimiento I, enero y febrero 2011; crecimiento II, marzo a julio; y endurecimiento II, agosto y septiembre 2011. El cultivo se hizo en invernadero hasta los primeros dos meses de la etapa crecimiento I, durante los cuales se utilizó malla sombra (verde, 70 %).

La fertilización se dividió en tres fases, según el desarrollo de plántulas y brinzales: la fase de establecimiento (metas de N, P y K: 50, 100 y 100 ppm), de crecimiento (metas: 150, 60 y 150 ppm) y la de endurecimiento (metas 50, 60 y 150 ppm). En cada etapa se utilizaron, respectivamente, los fertilizantes: iniciador (*Peters*® 8-45-14 de N, P₂O₅ y K₂O), crecimiento (*Peters*® 20-20-20) y finalizador (*Peters*® 4-25-35). Para alcanzar las metas de N, P y K por etapa, se aplicaron 0.62, 0.75 y 0.52 g L⁻¹ de los fertilizantes iniciador, para crecimiento y finalizador ya referidos.

Los riegos se hicieron conforme a la etapa de cultivo: ligeros, máximo a capacidad de campo y frecuentes (establecimiento); pesados, manteniendo capacidad de campo, cada tercer día (crecimiento); y cada 2-3 días a capacidad de campo (endurecimiento).

Dado que se advirtió la presencia de mosquitos y pulgones que causaban el enrollamiento de hojas y su amarillamiento, se aplicó plaguicida dimetoato (1 mL L⁻¹ agua) para controlarlos. Además, al detectar el hongo *Oidium* sp., inicialmente se le trató con el fungicida Benomil (0.9 g L⁻¹ agua), pero al no obtener los resultados deseados, se le combatió con *Rally* 40W (Myclabutanil) (0.3 g L⁻¹ agua). Estas afectaciones fueron controladas en su inicio, por lo que no influyeron en la calidad de planta.

Indicadores morfológicos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones (charolas), para cada uno de los tres tratamientos (contenedores de 210, 135 y 93 cm³) y 144 plantas por bloque. Las variables medidas para los análisis morfológicos, fueron: altura, que se midió del cuello de la raíz hasta la yema apical (con regla de 30 cm); diámetro, a la altura del cuello de la raíz (con un vernier digital, *Truper*, 0.1 mm); número de hojas y relación biomasa aérea/ biomasa subterránea (Figura 1). Para esta última, cuando la planta tenía 11 meses de edad se obtuvo el peso seco de la parte aérea y de la parte subterránea, al fraccionar cada planta en tallo, hojas, raíz principal, raíces secundarias y colocarlas en bolsas de papel estraza, dentro de un horno a 70 °C (*Ríos Rocha*®, mod. H41), hasta registrar el peso seco de estos componentes; los pesajes se realizaron con una balanza digital (*Ohaus*, modelo N14120, 0.01 g) cada tercer día, hasta alcanzar pesos constantes. También, se calcularon el índice de calidad de *Dickson* [$ICD = \text{peso seco total (g)} / (\text{biomasa aérea (g)} / \text{biomasa subterránea (g)} + \text{índice de esbeltez (cm/mm)})$]; y el índice de esbeltez [$\text{altura (cm)} / \text{diámetro (mm)}$] (*Landis et al.*, 2010); además, se observó el estado fitosanitario de las plantas. Esta fase de la investigación se desarrolló en el Laboratorio de Semillas Forestales de la Dicifo, UACH.





Figura 1. Muestra de contenedores y planta producida. De izquierda a derecha: contenedores grande, mediano y pequeño. Estas muestras fueron analizadas en sus características morfológicas en laboratorio.

Indicadores fisiológicos

Para determinar la concentración nutrimental, se seleccionaron al azar 12 plantas de 11 meses (tres por cada tratamiento) y se llevaron al Laboratorio Central Universitario de la UACH donde se realizó dicho análisis: para todos los nutrimentos se usó digestado con mezcla diácida. Las determinaciones se hicieron por arrastre de vapor (N), fotolorimetría por reducción de molibdo-vanadato (P), espectrofotometría de

emisión de flama (K), espectrofotometría de absorción atómica (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn) y por fotolorimetría con azometina-H (B).

En la prueba de tensión hídrica (iniciada el 31 de agosto de 2011), se aplicó un riego inicial y se suspendió hasta el final de 3, 8 y 11 días después de tal riego. Las fechas de las mediciones fueron: 3, 8 y 11 de septiembre de 2011. Las lecturas se hicieron en ramas, antes del alba (previo a la transpiración). Se utilizaron 12 plantas por cada tratamiento (tamaño de contenedor); por registro se llevaron a cabo tres mediciones por tratamiento. Las mediciones de tensión hídrica se hicieron con una cámara de *Scholander* (bomba de presión) *PMS Instrument*, mod. 1000.

Crecimiento potencial de raíz

En esta prueba se utilizó un diseño en bloques al azar, con cinco repeticiones y cada bloque con tres macetas de 2 L (una por tratamiento de tamaño de contenedor) y cinco plantas por maceta. Se usó una más para determinar el momento apropiado para el registro de nuevas raíces (16 macetas y 80 plantas en total). Se llenaron con un sustrato a partes iguales de turba de musgo, vermiculita y arena fina (1:1:1), en condiciones de invernadero, con riego moderado durante un mes (octubre de 2011). Al cabo de dicho tiempo, se contabilizaron las raíces nuevas (blancas y succulentas) mayores a 1 cm de longitud.



Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se siguió el procedimiento Análisis de Varianza (PROC ANOVA) del programa SAS v. 9.0 (SAS Institute, 2002). Además, se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa para conocer las diferencias entre tratamientos. En todos los casos el modelo estadístico fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + E_{ijk}$$

Donde:

y_{ij} = Variable respuesta del i -ésimo bloque, en el j -ésimo tratamiento

μ = Media general del experimento

α_i = Efecto del i -ésimo bloque

β_j = Efecto del j -ésimo tratamiento

E_{ijk} = Error experimental



Resultados y Discusión

Análisis morfológicos

Para la variable diámetro se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0.0007$); el contenedor grande tuvo una media de 4.5 mm, mientras que los contenedores mediano y pequeño no presentaron diferencias estadísticas entre sí (4.0 y 3.5 mm, respectivamente) (Figura 2). El diámetro del cuello de la raíz es un buen criterio de predicción del crecimiento y la supervivencia futura de una plantación (Ruano, 2003). Un mayor diámetro se relaciona con una raíz más vigorosa, mayor potencial para almacenar carbohidratos, más rigidez para tolerar limitaciones de humedad y daños mecánicos, y más yemas para rebrote en caso necesario (Landis *et al.*, 2010).

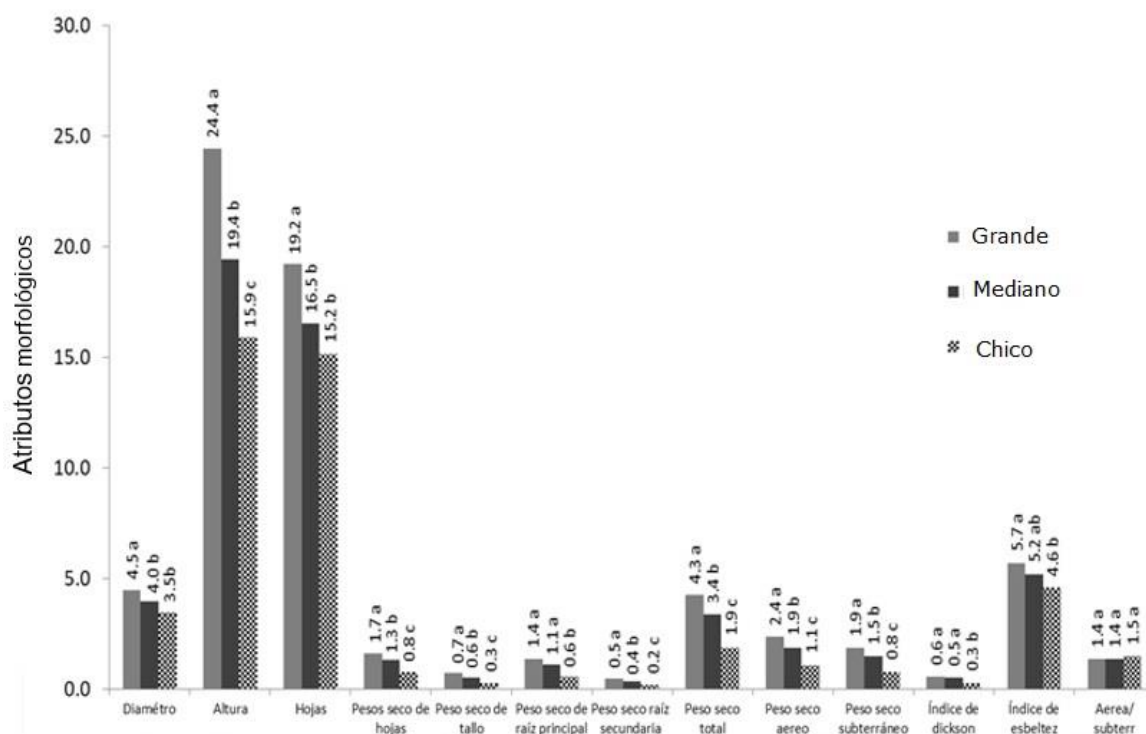


Figura 2. Atributos morfológicos, de acuerdo al tamaño de contenedor. Las unidades son las siguientes: diámetro (mm), altura (cm), pesos secos (g). Los índices no tienen unidades. Letras diferentes en una misma tercia de barras indican diferencias significativas entre los tratamientos.

Esta característica define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación, ya que mientras el diámetro sea > 5 mm, las plantas son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, lo que varía con la especie (Prieto *et al.*, 2003; 2009). Todos los diámetros estuvieron dentro del intervalo de 3.5 a 4.8 mm referido para plantas de calidad de *Q. ilex* L. en España (del Campo *et al.*, 2010).

Se registraron diferencias significativas entre tratamientos para la altura ($P < 0.0001$). La altura de la planta producida en contenedor grande fue mayor (24.4 cm) a la de los contenedores mediano (19.4 cm) y pequeño (15.9 cm) (Figura 2). De acuerdo con los resultados de Cortina *et al.* (1997), *Quercus rotundifolia* Lam. en España mostró una relación significativa de la altura y el diámetro con la supervivencia, contrario a lo observado para *Quercus coccifera* L. en el mismo estudio.

En trabajos sobre calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco (Rueda *et al.*, 2012), se definieron intervalos para los atributos morfológicos evaluados en latifoliadas nativas (pero no *Quercus*) y exóticas, tanto de climas templado-fríos como de clima tropical. Los de altura fueron: baja (< 12.0 cm), media (12.0–14.9 cm), y alta (≥ 15.0 cm). Por su parte, Sáenz *et al.* (2010) indicaron que las latifoliadas deben alcanzar una altura de 20 a 35 cm para ser consideradas de calidad. Los valores registrados en las plántulas del presente estudio son iguales o superiores al intervalo de 12-17 cm citado para *Q. ilex* en España (del Campo *et al.*, 2010).

Las plantas de *Q. rubra* con más altura y diámetro al momento de la plantación tuvieron mayor supervivencia en Estados Unidos de América los primeros años, si bien se observó, un importante efecto de las familias comparadas (Pinchot *et al.*, 2018). Tendencia similar se apreció en *Q. rugosa* producido en bolsa y plantado en condiciones limitantes de humedad en la Sierra de Guadalupe, Edo. de Méx.; donde la planta grande (altura, 16-24 cm; diámetro, 2-4 mm), sobre laderas NE, plantada con micrositio (junto y al NE de roca) tuvo una supervivencia de 63 %, mientras que

la pequeña (altura, 8-15 cm; diámetro, < 2 mm) y sin micrositio registró supervivencia nula (Ramírez y Rodríguez, 2004).

El número de hojas mostró diferencias significativas ($P=0.0003$) entre el contenedor grande y los contenedores mediano y pequeño (Figura 2), sin diferencias entre estos dos últimos. Tendencia similar, pero con todos los tamaños de contenedor con diferencias entre sí, se observó para el peso seco del follaje ($P < 0.0001$). Mientras exista una mayor biomasa en las hojas, habrá más capacidad en la planta para captar luz y CO_2 , lo que redundará en una fotosíntesis alta, tasa de crecimiento, o bien en una mayor asignación de biomasa a las raíces; lo que conduce a captar más agua y nutrientes minerales del suelo, pero a expensas de un menor crecimiento de la parte aérea (Villar *et al.*, 2004).

Los valores fueron superiores en los contenedores más grandes, con diferencias entre los tres tamaños de contenedor para las variables: peso seco de tallo, de raíces secundarias, peso seco total, aéreo y subterráneo ($P < 0.0001$). No se registró diferencia entre los contenedores grande y mediano, pero sí con el más pequeño en peso seco de raíz principal e índice de calidad de *Dickson* ($P < 0.0001$). Sáenz *et al.* (2010) y Rueda *et al.* (2012) coincidieron en que valores superiores del ICD correspondieron con los mejores resultados en plantación; es decir, plantas de calidad, por lo que el contenedor grande y el mediano son congruentes con los intervalos de calidad alta.

Respecto al índice de esbeltez, solo hubo diferencias entre el contenedor grande y el pequeño ($P = 0.0541$), mientras que para la relación peso seco aéreo/peso seco de raíz no hubo diferencias ($P=0.5568$) entre los tamaños de contenedor (Figura 2). Esto indica que, aunque la planta presenta diferencias en peso seco total o de las partes aérea o subterránea, la proporción entre ambas se mantuvo en los diferentes contenedores.

La relación biomasa aérea/biomasa subterránea con valores bajos favorece la supervivencia en sitios con limitaciones de humedad (Cano y Cetina, 2004). Rueda *et al.* (2012) refieren que los intervalos de esta variable, establecidos para plantas forestales en general, las clasifican como baja ≥ 2.5 , media $2.4 - 2.0$ y alta < 2.0 ; la

última concuerda con los valores que se registraron en los tres tamaños de contenedor (Figura 2).

Por lo general, se recomienda que el índice de esbeltez sea menor a 6 (Rodríguez, 2008). Si resulta excesivamente alto (>6) es indicativo de plantas ahiladas, con alargamiento del tallo desproporcionado con el crecimiento en diámetro (Thompson, 1985) (Figura 2).

Pruebas fisiológicas

Para los elementos considerados en el análisis nutrimental no hubo diferencias significativas en su concentración en los diferentes tamaños de contenedor. Al parecer no existen niveles estándar de concentración nutrimental foliar para encinos nacionales, si bien las concentraciones halladas en el presente trabajo para N, P y K, quedan dentro o arriba de los intervalos establecidos por del Campo *et al.* (2010) para un encino de España, *Q. ilex* (1, 0.09 y 0.37 %, respectivamente). Por su parte, McCreary (2009) recomendó 100 ppm N con fertilizante 20-20-20 para encinos de California, similar a la fertilización manejada en este trabajo.

Landis *et al.* (1989) definieron estándares de concentraciones nutrimentales foliares para coníferas en vivero, información que puede servir como guía general. Las proporciones son las siguientes: N (1.4-2.2 %), P (0.2-0.4 %), K (0.4-1.5 %), Ca (0.2- 0.4 %), Mg (0.1-0.3 %), S (0.2-0.3), Fe (60-200 ppm), Mn (100-250 ppm), Zn (30-150 ppm), Cu (4-20 ppm), Mo (0.25-5.0 ppm) y B (20-100 ppm). Otros autores presentan intervalos de concentración de nutrimentos para especies forestales en vivero, y consideran adecuadas las siguientes (calidad alta): $N \geq 1.3$ %; $P \geq 0.2$ %; y $K \geq 0.7$ %. Calidad media: N 1.0–1.2 %; P 0.1-0.2 %; K: 0.5-0.6 %. Calidad baja:

N <1.0; P \leq 0.1 %; y K: < 0.5 % (Santiago *et al.*, 2007; Conafor, 2009; Sáenz, *et al.*, 2010; Rueda *et al.*, 2012). Con base en los intervalos dados, casi todas las concentraciones de los elementos analizados para *Q. rugosa* (Cuadro 1) están dentro de los intervalos establecidos para plantas de calidad alta a media. Solo el P fue ligeramente menor, Ca y Mg un poco mayores a tales concentraciones. Sin embargo, no se advirtieron síntomas visuales de deficiencia de P en las plantas; Bennett (1993) y Alcántar *et al.* (2013) señalan que niveles altos de Ca y Mg no generan toxicidad en plantas de cultivo.

Cuadro 1. Resultados del análisis nutrimental.

Nutrimento	Contenedor		
	Grande	Mediano	Pequeño
N (%)	1.3 a	1.2 a	1.3 a
P (%)	0.15 a	0.14 a	0.16 a
K (%)	0.97 a	1.03 a	1.04 a
Ca (%)	0.69 a	0.70 a	0.61 a
Mg (%)	0.47 a	0.45 a	0.45 a
Fe (ppm)	95.7 a	86.6 a	84.3 a
Cu (ppm)	10.76 a	11.72 a	13.60 a
Zn (ppm)	100.1 a	105.1 a	108.8 a
Mn (ppm)	101.3 a	110.3 a	95.7 a
B (ppm)	52.3 a	58.7 a	53.8 a

Columnas con la misma letra no tienen diferencias significativas entre sí ($P \leq 0.05$).

Para la tensión hídrica, el análisis indicó diferencias significativas entre los días en los que se realizaron las mediciones ($P= 0.0001$), y entre los contenedores no hubo diferencias ($P=0.6355$). Las medias por día fueron: 0.58 MPa (3 d), 0.89 MPa (7 d) y 2.74 MPa (11 d), lo cual implica que la tensión hídrica del encino incrementa conforme aumenta el tiempo sin irrigación.

Landis *et al.* (1989) refieren que valores cercanos a 0 MPa corresponden a una baja tensión hídrica, 1.0 MPa una tensión moderada y 2.0 MPa una tensión elevada. Lo anterior coincide con los resultados del presente trabajo; ya que después de 11 días sin regar, la tensión hídrica de las plantas fue alta. Las especies tienen diferente sensibilidad al estrés hídrico, por lo que es recomendable regar en la madrugada, cuando el potencial hídrico disminuye por debajo de -0.5 MPa; con valores de -1.0 a -1.5 MPa se restringe el crecimiento y el preacondicionamiento es variable; si el potencial hídrico varía entre -1.5 y -2.5 Mpa, el estrés es severo y existe el riesgo de que las plantas presenten daños y mueran (Landis *et al.*, 1989). Bonfil (1998) y Bonfil (2006) señalan que en matorrales con disturbio, la supervivencia inicial de *Q. rugosa* está muy ligada a la disponibilidad de agua, así como a la herbivoría.

Prueba de crecimiento potencial de raíz

Se verificaron diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.0048$). La media del contenedor grande fue de 65.7 raíces nuevas, 54.4 en el contenedor mediano y 52 en el pequeño. Sin embargo, no hubo diferencia entre el mediano y el pequeño. Los resultados se analizaron con la escala del Índice de Crecimiento de las Raíces (RGI, por sus siglas en inglés) desarrollado por Tanaka y colaboradores (Landis *et al.*, 2010), en el que la mayor parte de las plantas tenían entre 31-100 raíces nuevas (correspondiente a un índice de Tanaka igual a 5), por lo que no hubo diferencias. Mientras mayor sea este valor, se espera un mejor desarrollo de los árboles en la plantación.

La prueba de crecimiento potencial de raíz se considera una de las más confiables para calidad de planta ante la evaluación del potencial de respuesta de una plantación comercial (Van den Driessche, 1984). La importancia de un sistema radical fibroso en *Q. rubra* L. producido en charolas quedó de manifiesto en Canadá, pues obtuvieron

100 % de supervivencia el primer año (Wilson *et al.*, 2007). El grado de pre-adaptación de las plantas a las condiciones del sitio es el factor de más influencia en el comportamiento de las plantas durante el periodo inicial de desarrollo tras su trasplante (Ortega *et al.*, 2006), y una buena conformación inicial de las raíces es un buen indicador de dicha capacidad.

Conclusiones

El contenedor grande produce la planta con mayores dimensiones y más crecimiento potencial de raíz, pues provee más espacio de crecimiento. Se considera que este tipo de brinzales exhibe mejor supervivencia en campo, incluso en sitios con limitaciones de humedad. Los indicadores morfológicos y las concentraciones nutrimentales definidas para *Q. rugosa* en este trabajo pueden servir como referencia para la producción de esta y otras especies de encinos en vivero. Es necesario realizar más investigaciones sobre indicadores morfológicos, fisiológicos y pruebas de calidad de planta, así como del efecto del tamaño de la semilla en diferentes taxones de *Quercus* para tener información que ayude a mejorar la supervivencia en campo de las reforestaciones con especies *Quercus*.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no existe conflicto de interés alguno.

Contribución por autor

Francisca De Jesús Albino y Rosalina Ignacio Hernández: trabajo de campo y laboratorio, análisis y procesamiento de datos, búsqueda de información y redacción del manuscrito; Dante Arturo Rodríguez Trejo: diseño del experimento, trabajo de

campo y de laboratorio, análisis estadísticos, supervisión de la investigación, redacción y edición del escrito final; Leopoldo Mohedano Caballero: apoyo en el diseño de la investigación, supervisión de la investigación y edición del escrito final.

Referencias

- Alcántar G., G., L. I. Trejo T., L. Fernández P. y M. N. Rodríguez M. 2013. Elementos esenciales. *In*: Alcántar G., G. y L. I. Trejo T. (eds.). Nutrición de Cultivos. INIFAP, UACH, IICA). Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. pp. 7-47.
- Arizaga, S., J. M. Cruz, C. M. Salcedo y M. Á. Bello G. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Semarnat, INE. México, D.F., México. 147 p.
- Bennett, W. F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants The American Phytopathological Society. St. Paul, MN USA. 202 p.
- Bonfil, C. 1998. The effects of seed size, cotyledon reserves and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). American Journal of Botany 85(1): 79–87. Doi:10.2307/2446557.
- Bonfil, C. 2006. Regeneration and population dynamics of *Quercus rugosa* at the Ajusco Volcano, México. *In*: M. Kappelle (ed.). Ecology and conservation of neotropical montane oak forests. Ecological Studies Vol. 185. Springer. Berlin, Germany. pp. 155–163.
- Cano P., A. y V. M. Cetina A. 2004. Calidad de planta en vivero y prácticas que influyen en su producción. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. 16 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). s/f. *Quercus rugosa* (Conabio). México.

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf (27 de octubre de 2010).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración. Documento técnico. Guadalajara, Jal. México. 9 p.

Cortina, J., A. Valdecantos, J. P. Seva, A. Vilagrosa, J. Bellot y V. R. Vallejo. 1997. Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas producidos en vivero. *In: Actas del II Congreso Forestal Español*. Pamplona, España. pp. 159-164.

del Campo, A. D., R. M. Navarro and C. J. Ceacero. 2010. Seedling quality and field performance of commercial stocklots of containerized holm oak (*Quercus ilex*) in Mediterranean Spain: an approach for establishing a quality standard. *New Forests* 39(1): 19. Doi: 10.1007/s11056-009-9152-9.

Escobar-Alonso, S. y D. A. Rodríguez T. 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. Doi: 10.29298/rmcf.v10i55.558.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F., México. 246 p.

Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. The container tree nursery manual. Agriculture Handbook 674. US Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC USA. 119 p.

- Landis, T. D., R. K. Dumroese and D. L. Haase. 2010. The Container tree nursery manual. Vol. 7. Seedling processing, storage, and outplanting Agricultural Handbook 674. U. S. Department of Agriculture Forest Service. Washington, DC. USA. 200 p.
- McCreary, D. D. 2009. Regenerating rangeland oaks in California. University of California. Agricultural & Natural Resources Publication 21601e. Oakland, CA USA. 62 p.
- Ortega L., U., D. de O. Kindelman, A. Hevia. C., E. Álvarez R. y J. Majada G. 2006. Control de calidad de planta forestal. Boletín informativo de SERIDA. Tecnología Agroalimentaria No.3. <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=01521> (31 de agosto de 2013).
- Pinchot, C. C., T. J. Hall, A. M., Saxton, S. E. Schlarbaum and J. K. Bailey. 2018. Effects of seedling quality and family on performance of Northern red oak seedlings on a xeric upland site. *Forests* 9(351): 1-18. Doi:10.3390/f9060351.
- Prieto R., J. A., G. Vera G. y E. Merlín B. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo., México. 24 p.
- Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., A. S. Huchín y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial No. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.
- Ramírez C., A. y D. A. Rodríguez T. 2004. Efecto de la 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&idp=1&cid=269762> (11 de noviembre 2020).

- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa-UACH. México, D.F., México. 156 p.
- Ruano M., J. R. 2003. Viveros Forestales: Manual de cultivos y proyectos. Mundi Prensa. Madrid, España. 281 p.
- Rueda, S., A., J. de D. Benavides S., J. A. Prieto R., J. T. Sáenz R., G. Orozco G. y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(14): 69-82. Doi:10.29298/rmcf.v3i14.475.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Limusa. México.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxCont.pdf>
(10 de noviembre de 2020).
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., F. Villaseñor R., J. A. Prieto R. y A. Rueda S. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico No. 12. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 50 p.
- Santiago O., T., V. Sánchez M., R. Monroy C. y G. García S. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INFAP-CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto Técnico No. 44. Tezonapa, Ver., México. 73 p.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2002. SAS Program V. 9.0. SAS Institute. Cary, N.C.USA. n/p.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. *In*: Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University. Corvallis, OR USA. pp. 59-71.
- Universidad Autónoma Chapingo (UACH)-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap). 1999. Atlas forestal de México. México, D.F., México. 101 p.

Van den Driessche, R. 1984. Seedling spacing in the nursery in relation to growth, yield, and performance of stock. *The Forestry Chronicle* 60: 345-356. Doi:10.5558/tfc60345-6.

Vázquez Y., C., M. A. Batis, S. M. I. Alcocer, D. M. Gual y D. C. Sánchez. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la Reforestación Instituto de Ecología, UNAM-Conabio. México, D.F., México. 266 p.

Villar, R., J. Ruiz R., J. L. Quero, H. Poorter, F. Valladares y T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *In*: Valladares, F.(ed.) 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid, España. pp. 191-227.

<http://www.ugr.es/~mm220/ingles/PDF/Cap7BosqMed.pdf> (30 de agosto de 2013).

Wilson, E. R., K. C. Vitols and A. Park. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada. *New Forests* 34: 163-176. Doi: 10.1007/s11056-007-9046-7.

Zavala C., F. 1995. Encinos hidalguenses. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 133 p.

Zavala C., F. 2003. Identificación de encinos de México División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 190 p.

Zavala C., F. 2007. Guía de los encinos de la Sierra de Tepotzotlán, México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 89 p.



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.