







Calidad morfológica de clones de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. propagados en vivero

Morphological quality of *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. clones propagated in a nursery

Juan Ángel García-Aguilar^{1*} , José Raymundo Enríquez-del Valle¹ , Rufino Sandoval-García¹ , Gerardo Rodríguez-Ortiz¹ , José Cristóbal Leyva-López¹ , Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez¹ 

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Carretera al ITAO, S/N, Ex hacienda de Nazareno Xoxocotlán, CP. 71233. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: gaja_9010@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 25 de septiembre 2025

Aceptado: 12 de mayo 2026

RESUMEN. En la reproducción de plantas es importante evaluar su calidad morfológica, fisiológica, genética, biológica y sanitaria, antes de establecerlas en campo. El objetivo fue evaluar las tasas de crecimiento y la calidad morfológica de clones de *Bursera graveolens*, procedentes de Magdalena Tequisistlán, Oaxaca, México, bajo condiciones de vivero. En marzo de 2024 se colectaron n = 270 estacas de nueve árboles fenotípicamente sobresalientes (árboles orteto). Después, se establecieron en camas de enraizado con sustrato turba-perlita 1:1. Se evaluó el crecimiento y calidad morfológica de planta mediante muestreo destructivo al final de cuatro estacionalidades. Se calcularon índices de calidad: área foliar (cm²), biomasa total (g), relación biomasa aérea-biomasa subterránea e índice de Dickson (ID). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) bajo diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, 9×4 (árbol orteto, estaciones) y prueba de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). El grupo clonal del árbol orteto 9 registró los mejores índices de calidad de planta en otoño, con tasa relativa de crecimiento (TRC) promedio de 19.65 cm mes⁻¹ en longitud de brote y TRC promedio de 1.35 mm mes⁻¹ en diámetro medio de brote. El porcentaje promedio del enraizado fue de 77.7% y supervivencia promedio de 60.0%. Estos resultados aportan conocimiento de que se puede reproducir esta especie de manera asexual en condiciones de vivero, con indicadores de calidad a partir del sexto mes que sugieren estar en condiciones de establecerse en campo. **Palabras clave:** Árbol orteto, estacionalidad, crecimiento, incremento, enraizado.

ABSTRACT. When propagating plants, it is important to assess their morphological, physiological, genetic, biological, and health quality before establishing them in the field. The objective was to evaluate the growth rates and morphological quality of *Bursera graveolens* clones from Magdalena Tequisistlan, Oaxaca, Mexico, under nursery conditions. In March 2024, a total of 270 cuttings were collected from nine trees that were identified as having exceptional phenotypical characteristics (ortet). The cuttings were then planted in rooting beds with a 1:1 peat-perlite substrate. To ensure a comprehensive assessment, plant growth and morphological quality were evaluated using a destructive sampling method at the conclusion of four seasons. Quality indices were calculated, including leaf area (cm²), total biomass (g), the above-ground to below-ground biomass ratio, and the Dickson index (DI). An analysis of variance was performed under a completely randomized design with a 9x4 factorial arrangement (ortet, season of the year) and a test of means (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). The ortet 9 clonal group showed the highest plant quality indices during autumn, with an average relative growth rate (RGR) of 19.65 cm month⁻¹ in shoot length and an average RGR of 1.35 mm month⁻¹ in average shoot diameter. The average rooting percentage was 77.7% and the average survival rate was 60.0%. These results show that this species can be reproduced asexually in nursery conditions, with quality indicators from the sixth month onwards suggesting that it is ready to be established in the field.

Keywords: Ortet tree, season, growth, increment, rooting.

Como citar: García-Aguilar JA, Enríquez-del Valle JR, Sandoval-García R, Rodríguez-Ortiz G, Leyva-López JC, Rodríguez-Vásquez ME (2026) Calidad morfológica de clones de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. propagados en vivero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4801. DOI: 10.19136/era.a13n2.4801.

INTRODUCCIÓN

La información sobre *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. en México es aún limitada; sin embargo, en el estado de Oaxaca se han identificado poblaciones naturales de esta especie asociadas a la selva baja caducifolia del Istmo de Tehuantepec, por lo que resulta necesario caracterizarlas, documentarlas y desarrollar estrategias orientadas a su conservación y aprovechamiento sustentable (Rzedowski y Medina-Lemos 2022, García-Aguilar *et al.* 2025). Las especies del género *Bursera* poseen importancia ecológica por su contribución a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas tropicales estacionalmente secos, además de presentar valor económico y cultural debido al uso de su madera, resinas y aceites esenciales (Rzedowski *et al.* 2004). No obstante, *B. graveolens* presenta limitaciones en su regeneración natural, situación que puede comprometer la permanencia de sus poblaciones (Aguirre y Cabrera 2021). Morillo *et al.* (2016), en un estudio sobre germinación de semillas de *B. graveolens* en Ecuador, reportaron un porcentaje promedio de germinación de 5.5%, atribuido a la elevada proporción de semillas vanas y a la baja viabilidad de las semillas, lo que evidencia una reducida capacidad regenerativa de la especie.

Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar métodos alternativos de propagación que permitan incrementar la producción de plantas y favorecer la conservación de la especie (García-García *et al.* 2022). En este contexto, la propagación vegetativa mediante estacas representa una alternativa viable para multiplicar individuos con características fenotípicas sobresalientes. En este tipo de propagación, el árbol original del cual se obtiene el material vegetativo se denomina árbol orteto, mientras que las plantas derivadas de él reciben el nombre de clones o rametos (Gergoff y Giménez 2023). La propagación vegetativa permite obtener plantas genéticamente similares al árbol progenitor en periodos relativamente cortos, favoreciendo la multiplicación masiva de materiales superiores seleccionados en campo (Bautista-Ojeda *et al.* 2022). Además, constituye una herramienta importante para la conservación, domesticación y recuperación de especies forestales con problemas de germinación o baja regeneración natural (Ramos *et al.* 2022).

La selección de árboles orteto con características sobresalientes de crecimiento, vigor y adaptación, así como el establecimiento de condiciones adecuadas para el enraizado de estacas y el manejo de las plantas en vivero, puede favorecer la producción de material clonal con alta calidad genética, fisiológica y sanitaria (Hartmann *et al.* 2010). Lo anterior incrementa la probabilidad de supervivencia y adaptación de las plantas después de su establecimiento en campo y contribuye al desarrollo de plantaciones forestales más uniformes y productivas (Lamhamedi *et al.* 2023). En este sentido, la evaluación de la calidad morfológica de las plantas propagadas vegetativamente adquiere especial relevancia, ya que variables como altura, diámetro, biomasa y vigor se relacionan estrechamente con el desempeño y supervivencia de las plantas en condiciones de campo (Reyes-Reyes *et al.* 2021).

La evaluación de la calidad de planta constituye un componente fundamental en los programas de propagación y producción forestal, debido a que permite estimar el potencial de supervivencia, adaptación y crecimiento de las plantas después de su establecimiento en campo (Grossnickle y MacDonald 2018). Para ello, se emplean diversos indicadores morfológicos y fisiológicos que reflejan el vigor y balance estructural de las plantas. Entre los más utilizados se encuentra el índice

de calidad de Dickson, considerado uno de los indicadores integrales más confiables debido a que relaciona variables de biomasa y robustez (González *et al.* 2018). Asimismo, la relación biomasa aérea/biomasa subterránea permite evaluar el equilibrio entre la capacidad fotosintética y el potencial de absorción de agua y nutrimentos; la biomasa total se asocia con el vigor general de la planta; y el área foliar se relaciona con la capacidad fotosintética y el crecimiento potencial (Rueda-Sánchez *et al.* 2014). La evaluación conjunta de estos índices permite identificar materiales clonales con mejores atributos morfológicos y mayor probabilidad de éxito en campo, particularmente en especies forestales propagadas vegetativamente bajo condiciones de vivero. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar las tasas de crecimiento y la calidad morfológica de clones de *Bursera graveolens*, procedentes de Magdalena Tequisistlán, Oaxaca, México, bajo condiciones de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y establecimiento de los clones

La investigación se desarrolló con estacas obtenidas de árboles orteto de *B. graveolens* procedentes de la localidad de Magdalena Tequisistlán, Tehuantepec, Oaxaca, que se localiza en las coordenadas geográficas 16° 22' 19.9" LN y 95° 33' 37.84" LO, altitud promedio de 501 m (García-Aguilar *et al.* 2025). El clima que predomina es de tipo BS1 (h' w (semi seco muy cálido), con temperatura media anual de 28 °C, los tipos de suelos son: regosol, cambisol y litosol (INEGI 2022).

Al iniciar la primavera (marzo) de 2024 se seleccionaron nueve árboles sobresalientes (árboles orteto) en cuanto a variables dasométricas como diámetro normal (cm) a 1.30 m, altura (m) y diámetro de copa (m); vigorosos y con calidad fitosanitaria, con distancia mínima entre árboles de 300 m, con el objetivo de coleccionar genotipos distintos dentro de su área de distribución (Vallejo y Cob 2021). Se coleccionaron ramas de la parte media del árbol con grado de lignificación medio, para obtener estacas de 30 cm de longitud, con diámetros promedios de 3.5±0.5 cm, a las que se les denomina grupos clonales en este manuscrito.

Se establecieron en total n = 270 estacas de *B. graveolens*, 30 por cada árbol orteto, en el vivero de aclimatación del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Se realizó corte biselado en la base de la estaca para aplicarles un producto comercial (Raizone Plus®) para promover el enraizado. Después se insertaron en vertical a una profundidad de 8 cm en camas de enraizado con sustrato turba-perlita 1:1, en ambiente de vivero. A partir de su establecimiento, se aplicó riego a saturación cada tercer día, durante un año.

Medición de variables y obtención de índices de calidad de planta

Se registró el crecimiento de los clones mediante muestreos destructivos a tres de ellos por árbol orteto al final de cada estación (primavera, verano, otoño, invierno); consistió en separar los componentes estructurales: brote, hojas y raíces, a los cuales se les midió, diámetro medio de brote y raíz con vernier digital (Surebilt®) y precisión 0.01mm, longitud de brote y raíz con flexómetro (Trupper® FCN-8m).

El análisis de las tasas relativas de crecimiento (TRC) de las variables evaluadas se determinó con lo siguiente:

$$TRC = \frac{(VF - VI)}{Tiempo_2 - Tiempo_1}$$

Donde: VF = dimensión final, y VI = dimensión inicial

La biomasa de los clones se calculó con el factor de conversión $B = (ps/pf) \times (pt)$, donde B = biomasa (g), pf = peso fresco (g), ps = peso seco (g), pt = peso total de los componentes del clon (g). Esto fue posible al registrar durante el muestreo destructivo el peso fresco (g) de cada componente con balanza analítica (Ohaus® PX163/E) con precisión de 0.001 g y peso seco (g) obtenido al deshidratar los componentes en estufa de secado (Memmert® modelo 100-800) a 70 °C durante 24 h hasta obtener peso constante.

El índice relación biomasa aérea-biomasa subterránea se calculó con la siguiente expresión: RBABS = relación biomasa aérea-biomasa subterránea, con la expresión $RBABS = BH + BB/BR$ donde: BH = biomasa de hojas (g), BB = biomasa de brotes (g), BR = biomasa de raíces (g). Además, el total de hojas de los brotes de cada clon se digitalizaron y se calculó el área foliar (AF, cm²) con el software ImageJ®.

El índice de Dickson se determinó con la siguiente ecuación (Rodríguez 2008):

$$ID = \frac{PST}{\frac{AT}{DC} + \frac{PSA}{PSR}}$$

Donde: ID = índice de Dickson, PST = peso seco total (g), AT = altura total (cm), DC = diámetro al cuello de la raíz (mm), PSA = peso seco parte aérea (g), PSR = peso seco de raíz (g).

El porcentaje de enraizado de estacas se evaluó al tercer mes (90 días) de su establecimiento, con la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{NEE}{NES} \times 100$$

Donde: PE = porcentaje de enraizado de estacas por árbol, NEE = número de estacas enraizadas, y NES = número de estacas sembradas.

El porcentaje de supervivencia se evaluó cuando había transcurrido un año de su establecimiento, con la ecuación:

$$PS = \frac{NEV}{NES} \times 100$$

Donde: PS = porcentaje de supervivencia, NEV = número de estacas vivas, y NES = número de estacas sembradas.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 9×4 (árboles orteto, estaciones), para evaluar el efecto del árbol orteto y estacionalidad en la acumulación de biomasa y calidad de planta de *B. graveolens*. La unidad experimental fue una estaca y se tuvieron tres repeticiones. También se realizó diseño completamente aleatorizado de un factor para comparar el crecimiento de las variables evaluadas en función de las estaciones. Cuando se observaron

diferencias estadísticas significativas se sometieron a prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) y análisis de contrastes ortogonales.

A los valores de las variables e índices estructurales se les realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov, $P \leq 0.05$) y homogeneidad de varianzas (Bartlett, $P \leq 0.05$). Cuando no cumplieron con estos supuestos, se aplicó transformación raíz cuadrada (área foliar, diámetro medio de brote, longitud de raíz), arcotangente (relación biomasa aérea-biomasa subterránea), log10 (biomasa total e ID), logaritmo natural (longitud de brote y diámetro de raíz). Todos los procedimientos se realizaron en el paquete estadístico SAS (SAS 2022).

RESULTADOS

Crecimiento e incremento de brotes y raíces de los grupos clonales

Todas las variables de crecimiento que fueron evaluadas en los grupos clonales mostraron diferenciación estadística ($P \leq 0.05$) entre una estación y otra. En la variable longitud de brote el mayor crecimiento se presentó en invierno (145.81 cm), esta estación superó en 480.4% a la estación primavera (25.12 cm). En tanto, el diámetro medio de brote evidenció mayor crecimiento en invierno (255.6%) que en primavera.

Las variables longitud y diámetro de raíz mostraron el mayor diferencial de crecimiento en invierno (43.90 cm y 14.94 mm, respectivamente), valores que representan (240.3% y 643.3%, respectivamente) en relación con lo sucedido en la estación primavera (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación del crecimiento en las variables evaluadas en función de las estaciones, en grupos clonales de *Bursera graveolens*.

Variable	Pr > F	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Lbrote (cm)	< 0.0001	25.12 ± 3.22 ^c	58.66 ± 10.01 ^b	101.93 ± 10.80 ^a	145.81 ± 13.05 ^a
DMbrote (mm)	< 0.0001	4.41 ± 0.33 ^c	8.51 ± 0.85 ^b	13.76 ± 0.68 ^a	15.68 ± 0.84 ^a
Lraiz (cm)	< 0.0001	12.90 ± 1.48 ^b	17.61 ± 1.99 ^b	39.17 ± 2.20 ^a	43.90 ± 2.21 ^a
Draiz (mm)	< 0.0002	2.01 ± 0.19 ^c	2.43 ± 0.26 ^c	10.21 ± 1.05 ^b	14.94 ± 1.35 ^a

Lbrote = longitud de brote, DMbrote = diámetro medio de brote, Lraiz = longitud de raíz, Draiz = diámetro de raíz. Letras diferentes en filas representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$). La media se acompaña ± error estándar.

Fue en la estación de otoño donde se presentó la mayor TRC acumulada (138.32 cm mes⁻¹) en la variable longitud de brote, a diferencia de la menor TRC acumulada que se registró en primavera (75.36 cm mes⁻¹); pero los grupos clonales de los árboles cinco (35.0 cm mes⁻¹) y seis (39.10 cm mes⁻¹) sobresalieron a los demás grupos en esa misma estación. Sin embargo, cuando se analizó la mayor TRC total acumulada de las cuatro estaciones, se observó que los grupos clonales de los árboles ocho y nueve (78.55 cm mes⁻¹ y 78.6 cm mes⁻¹, respectivamente) fueron los más notables (Figura 1A). El diámetro medio de brote mostró mayor TRC en la estacionalidad de otoño con un total acumulado de 15.68 mm mes⁻¹; en tanto, el grupo clonal del árbol nueve (1.93 mm mes⁻¹) superaron con 135% al grupo clonal del árbol 1 (0.82 mm mes⁻¹) con TRC promedios diferenciados (Figura 1B).

Las TRC acumulados en la longitud y diámetro de raíz se presentaron con mayor magnitud en el otoño (63.25 cm mes⁻¹ y 22.52 mm mes⁻¹, respectivamente), y fue el grupo clonal del árbol nueve el más sobresaliente en cuanto a sus valores totales acumulados durante las cuatro estaciones (Figura 1C, D).

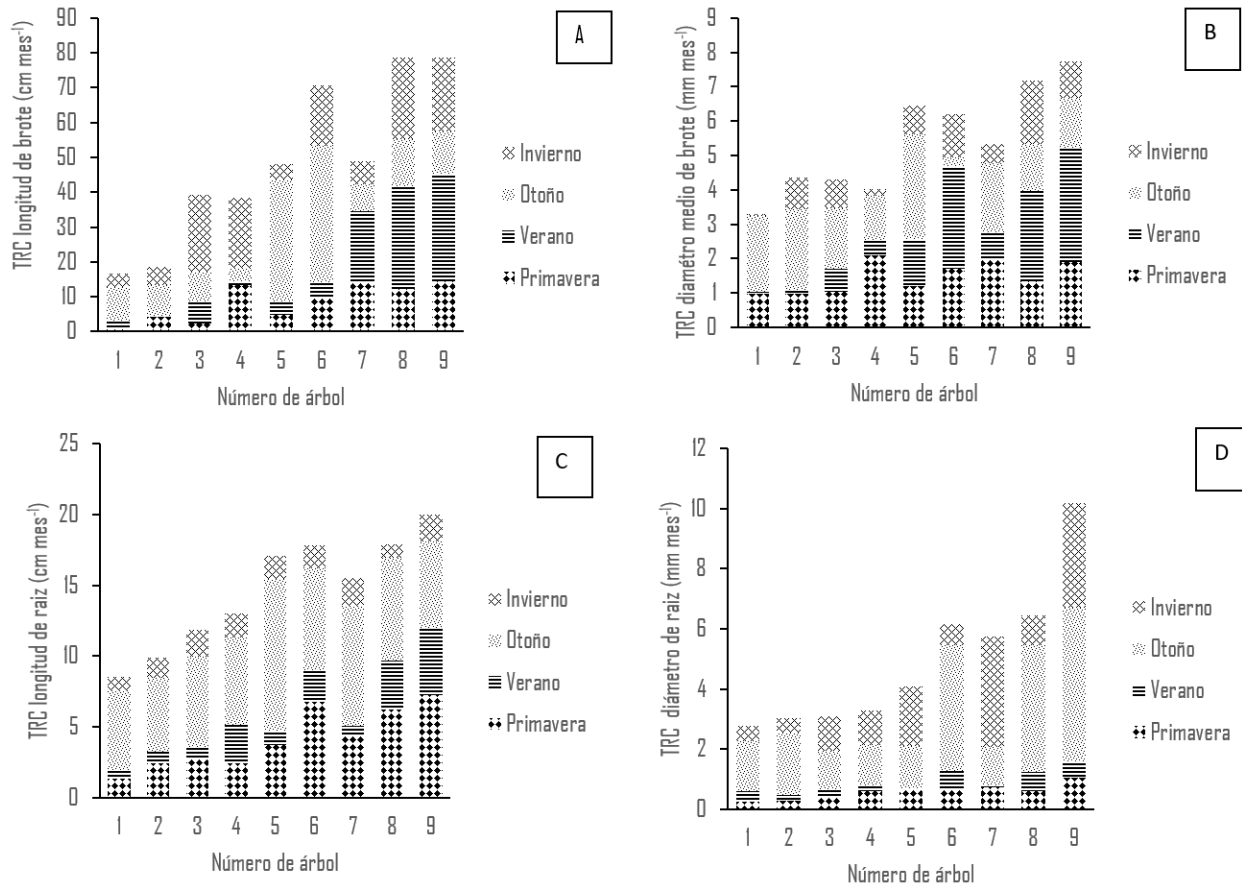


Figura 1. Incremento de las variables estructurales en los grupos clonales de *Bursera graveolens*. A: longitud promedio de brote, B: diámetro promedio de brote, C: longitud de raíz, D: diámetro de raíz, TRC = tasa relativa de crecimiento.

Indicadores de calidad de los grupos clonales

Los factores árbol orteto, estación y su interacción tuvieron efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$) sobre todas las variables evaluadas: biomasa total, RBABS, índice de Dickson y área foliar; es decir, que se registró un comportamiento diferenciado entre los niveles de cada factor. Sin embargo, la mayor variabilidad en los valores de las variables estructurales se mostró en el ID con CV de 11.5%, en contraste con, la RBABS que mostró menor CV (1.5%) que indica mayor homogeneidad en sus valores (Tabla 2).

Los grupos clonales de los árboles numerados como 9 y 8 mostraron los mayores valores en cuanto a sus índices estructurales, con excepción del índice RBABS, en donde los grupos clonales del árbol 4 mostraron la mejor relación con un valor de 20.08. El AF (4516.4 cm²) de los grupos clonales del árbol orteto 9 superó en 194.4% a los del árbol orteto 1, situación que se magnifica en la biomasa total, en donde el diferencial acumulado entre ellos fue de 413.3% (Tabla 3).

Tabla 2. Análisis de la varianza para evaluar el efecto del árbol orteto y estacionalidad en variables estructurales de grupos clonales de *B. graveolens*.

Fuente de variación	Gl	Afoliar	Btotal	RBABS	ID
Árbol	8	933.27**	0.21**	0.0017**	0.07**
Estación	3	1117.85**	1.04**	0.1099**	0.43**
Estación × Árbol	24	35.98**	0.01**	0.0072**	0.006*
Error	72	14.19	0.0014	0.0004	0.0006
Total	107				
CV (%)		7.0	5.3	1.5	11.5
RCME		3.76	0.03	0.02	0.02

Gl = grados de libertad, Afoliar = área foliar (cm²), Btotal = biomasa total (g), RBABS = relación biomasa aérea/biomasa subterránea, ID = índice de Dickson, CV = coeficiente de variación, RCME = raíz del cuadrado medio del error, **altamente significativo ($P \leq 0.01$).

Tabla 3. Características estructurales de grupos clonales, en función del árbol orteto, estacionalidad y contrastes ortogonales.

Factor	AF (cm ²)	Biomasa total (g)	RBABS	Índice de Dickson
Árbol				
1	1 534.16 ± 149.60 ^e	14.12 ± 4.28 ^s	8.01 ± 1.13 ^c	0.53 ± 0.11 e
2	2 085.23 ± 129.57 ^d	18.20 ± 4.52 ^f	17.18 ± 6.49 ^b	0.69 ± 0.14 e
3	2 563.90 ± 166.67 ^c	26.87 ± 7.82 ^e	11.88 ± 2.47 ^d	1.78 ± 0.46 d
4	2 498.33 ± 196.63 ^{cd}	29.61 ± 7.44 ^{de}	26.08 ± 10.15 ^a	1.98 ± 0.47 ^d
5	2 933.17 ± 116.01 ^{bc}	38.32 ± 8.34 ^c	10.82 ± 2.59 ^d	2.62 ± 0.52 ^c
6	3 504.42 ± 371.67 ^b	55.24 ± 10.98 ^b	15.79 ± 6.44 ^{ab}	3.31 ± 0.61 ^b
7	2 972.13 ± 194.05 ^{bc}	38.68 ± 9.52 ^{cd}	14.80 ± 4.29 ^{bc}	2.19 ± 0.55 ^d
8	4 147.06 ± 300.2 ^a	63.57 ± 10.69 ^a	23.50 ± 8.62 ^{ab}	3.24 ± 0.60 ^{bc}
9	4 516.38 ± 314.81 ^a	72.48 ± 12.91 ^a	13.95 ± 4.67 ^{bc}	4.00 ± 0.66 ^a
Estación				
Primavera	2 137.53 ± 172.06 ^c	10.06 ± 1.20 ^d	42.35 ± 5.20 ^a	0.26 ± 0.05 ^d
Verano	2 837 ± 163.47 ^b	22.31 ± 2.62 ^c	7.63 ± 0.65 ^c	1.69 ± 0.22 ^c
Otoño	3 795.56 ± 254.35 ^a	45.48 ± 6.42 ^b	5.44 ± 0.29 ^d	2.81 ± 0.31 ^b
Invierno	3 120.89 ± 200.84 ^b	80.84 ± 5.42 ^a	7.70 ± 0.27 ^b	4.29 ± 0.34 ^a
Contraste				
C1 (A8 vs A9 prim)	NS	NS	**	NS
C2 (A8 vs A9 ver)	*	*	NS	*
C3 (A8 vs A9 oto)	NS	NS	NS	NS
C4 (A8 vs A9 inv)	NS	**	NS	**

RBABS = relación biomasa aérea-biomasa subterránea. La media se acompaña de \pm error estándar. Letras diferentes en columnas por factor representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$), NS = no significativo ($P > 0.05$), *significativo ($P \leq 0.05$), **altamente significativo ($P \leq 0.01$), C1 = contraste ortogonal uno (árbol 8 vs árbol 9 en primavera), C2 = contraste ortogonal dos (árboles 8 vs árbol 9 en verano), C3 = contraste ortogonal tres (árbol 8 vs árbol 9 en otoño), C4 = contraste ortogonal cuatro (árbol 8 vs árbol 9 en invierno).

Las estaciones otoño e invierno fueron donde se registraron los mayores valores acumulados promedio en los indicadores estructurales AF (3458.26 cm²), biomasa total (63.16 g) e ID (3.55), que se traduce en valores diferenciales de (39.0%, 290.0% y 266.0%, respectivamente) en relación con las estaciones primavera y verano. Para tal efecto, cuando se aplicó contrastes ortogonales se determinó que es en invierno en donde se obtienen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la acumulación de biomasa total y en el ID (Tabla 3)

Enraizado y supervivencia de los grupos clonales

El porcentaje promedio del enraizado de estacas de todo el experimento fue de 77.7% y la supervivencia promedio de estacas fue 60.0%. Sin embargo, el árbol 9 registró el mayor valor de enraizado y supervivencia de las estacas (93.3% y 73.3%, respectivamente), mientras que el árbol 1, mostró los menores valores (60.0% y 46.7%) (Figura 2).

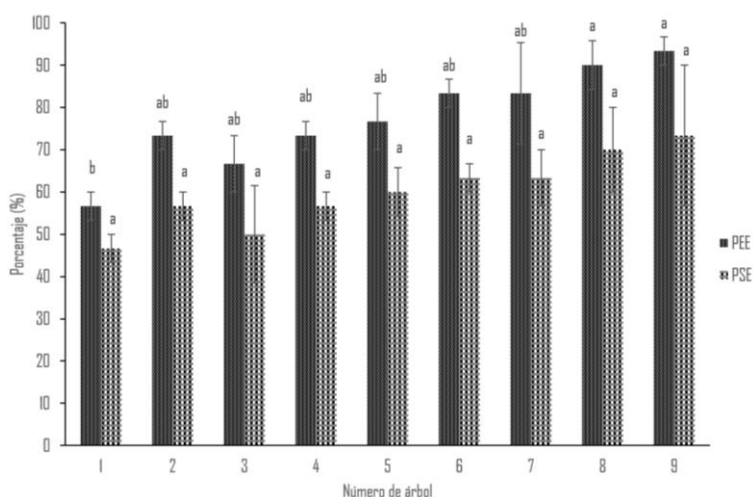


Figura 2. Enraizado y supervivencia de los grupos clonales de *Bursera graveolens*, en Oaxaca. PEE = porcentaje de estacas enraizadas, PES = porcentaje de supervivencia de estacas. Letras distintas sobre las barras en cada variable, representan diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) y líneas verticales sobre las barras indican el error estándar.

DISCUSIÓN

Crecimiento e incremento de brotes y raíces de los grupos clonales

Las investigaciones sobre el crecimiento de clones en *Bursera* en condiciones de vivero aún son limitados, sin embargo, es necesario realizar mediciones en variables como la longitud de brotes y raíces debido a que éstas reflejan el éxito en el enraizado de las estacas (More *et al.* 2021, Prieto-Ruíz *et al.* 2022); y en este estudio las TRC promedio en la longitud de brotes en los grupos clonales de los nueve árboles fue de 12.15 cm mes⁻¹, valores que son 69.9% (7.15 cm mes⁻¹) superiores a los reportados por Chairez-Aquino *et al.* (2024) en su estudio sobre crecimiento de *Prunus spp* bajo condiciones de vivero evaluados durante ocho meses de establecidos. En tanto, Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo (2004) reportaron que la TRC promedio en brinzales de un año de edad de

Quercus rugosa fue de 0.29 cm mes⁻¹. Otro valor inferior determinado por González *et al.* (2019) cuando propagaron estacas de *Acer negundo* L. en condiciones de vivero y obtuvieron incrementos promedios en longitud de brote de 1.46 cm mes⁻¹. Lo anterior sugiere que *B. graveolens* bajo condiciones de vivero muestra crecimiento aceptable.

La evaluación de la dinámica de crecimiento e incremento de las variables morfológicas de los grupos clonales en función de las estacionalidades permite al técnico forestal decidir el momento adecuado en que se tiene la calidad óptima para llevarlos a campo (Bernaola-Paucar *et al.* 2022). En esta investigación la estacionalidad en donde se observó mayor TRC de las variables longitud y diámetro de brote, longitud y diámetro de raíz, fue en el otoño. Esto puede responder a que las estacas de *B. graveolens* son grupos clonales de individuos procedentes de poblaciones naturales, y que sus TRC estarán mayormente influenciadas por su calidad genética y condiciones naturales de donde fueron colectadas. Esto explica que los árboles orteto de *Bursera graveolens* al desarrollarse en la selva baja caducifolia del Istmo de Tehuantepec en donde las lluvias finalizan en octubre, siguen acumulando reservas hasta esa estacionalidad (Morillo *et al.* 2016). Estos resultados coinciden con Hernández *et al.* (2021) en donde registraron que el mayor crecimiento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake se mostró en el mes de octubre que corresponde a la estación otoño, y refieren que ese crecimiento responde a la disponibilidad hídrica proporcionada por la estación lluviosa.

Indicadores de calidad de los grupos clonales

En este estudio se evaluó el efecto del árbol orteto y la estación sobre los índices de calidad morfológicos en las plantas, en donde se obtuvieron resultados estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$). Estas diferencias se pueden explicar debido a que cuando se propagan árboles mediante estacas, los individuos producidos son similares genéticamente al parental (clones), ya que fueron seleccionados con base en sus características morfológicas, fisiológicas y sanitarias, que, por lo tanto, se esperaría similitud en cuanto a los índices de calidad (Tinco 2024). Sin embargo, es de interés para el técnico forestal evaluar cuál de los árboles orteto es el que muestra los grupos clonales con los mejores índices de calidad, que les proporcione mayores posibilidades de supervivencia y buen desarrollo en campo, además de ser los elegidos para futuros proyectos de propagación y restauración ecológica (Grossnickle y MacDonald 2018, Aldrete *et al.* 2023).

Es importante evaluar las estaciones del año debido a que cada una de ellas propicia condiciones diferentes de luz, temperatura y humedad, que influyen directamente en el crecimiento y acumulación de biomasa de las plantas propagadas (Mendoza-Arroyo *et al.* 2020). En este sentido, García-Aguilar *et al.* (2021) refieren que el mejor escenario para la acumulación de la biomasa en *Bursera fagaroides* (Kunth) Engl. y *Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé ex DC.) Engl. es en otoño; reportaron biomasa acumulada (11.05 g planta y 6.20 g planta, respectivamente); valores muy inferiores que representan entre 300% y 600% a los reportados en este estudio. Estas diferencias pueden atribuirse a que las especies antes citadas, procedían de localidades del Valle de Oaxaca y que se caracterizan por un crecimiento medio a bajo en altura total \approx de 10 m (Hernández-Cruz *et al.* 2022), y *Bursera graveolens* es una especie codominante de la selva baja caducifolia que alcanza los 15 m de altura (Rzedowski *et al.* 2004).

El área foliar es un indicador fisiológico que permite vislumbrar que tan eficiente es fotosintéticamente una planta para producir y acumular biomasa (Basave *et al.* 2017). Los valores

de AF promedio de 2972.75 cm² documentados en este estudio son superiores a los reportados por Castellanos-Castro y Bonfil (2010) cuando evaluaron el crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera*, reportaron que después de cuatro meses de establecidas en campo las estacas de *B. linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina registraron AF de 441.1 cm², en *B. glabrifolia* (Kunth) Engl. 151.5 cm² y *B. copallifera* (Moc. & Sessé ex DC.) Bullock 145.2 cm². Las diferencias muy notables pueden deberse a que utilizaron diámetros de la estaca entre 9.4 mm y 10.4 mm, además que solo evaluaron su experimento a los cuatro meses; en contraste con esta investigación en donde se evaluaron las cuatro estaciones del año y se utilizaron estacas con diámetros promedios de 3.5 cm, que les daría posibilidad de desarrollar mayor número de hojas, por tener mayores reservas en el tallo (Solís *et al.* 2015).

El índice de calidad denominado relación biomasa aérea-biomasa subterránea (RBABS) se interpreta como la proporcionalidad entre ambas biomásas, en teoría clásica esta proporción debe ser cercana a uno. Sin embargo, De-Jesús *et al.* (2021) refieren que los intervalos pueden clasificarse de la siguiente manera: plantas de calidad baja (≥ 2.5), de calidad media (2.4 -2.0], y alta (< 2.0). Estos valores se evalúan debido a que inciden en la resistencia al estrés hídrico en campo, integra reservas de nutrientes, y en el tamaño de los tejidos de asimilación, habilidad competitiva y por lo tanto en la supervivencia (González *et al.* 2019, Hernández-García *et al.* 2024). En este estudio el valor promedio de los nueve árboles orteto evaluados, fue de 15.8, que de acuerdo con lo anterior se interpretan como plántulas de calidad baja, pero cuando se analiza por estacionalidad, la mejor relación es de 5.44 en el otoño. Esto sugiere, que conforme pasa el tiempo, las estacas desarrollan mayor biomasa en las raíces y permite que esta relación entre biomásas se vaya equilibrando. Los altos valores encontrados en la presente investigación podrían responder a lo que refiere Villalón-Mendoza *et al.* (2016) en su estudio sobre indicadores de calidad de *Quercus canby* Trel., donde describen que no siempre habrá mortalidad en las plantas con biomásas pequeñas en la raíz; por ello, es necesario ampliar los estudios para determinar con certeza cuales son los valores mínimos en que las especies son capaces de establecerse sin inconvenientes en los sitios de plantación. Algunas plantas como las del género *Bursera* están adaptadas a ambientes secos, característico de las selvas tropicales, pueden establecerse con biomasa mínima en la raíz. Además, Paz *et al.* (2023) reafirman que los estándares de calidad deben establecerse por especie, procedencia y sitio de plantación, pues ante diferentes condiciones ambientales y fisiográficas la planta con los mismos atributos de calidad tendrá supervivencia distinta.

El índice de Dickson en uno de los más usados en evaluar la calidad de planta producida en vivero, debido a que relaciona la altura, diámetro, peso total, peso de la parte aérea y subterránea. Valores superiores a 0.5 representan un buen equilibrio en el desarrollo de las plantas y se consideran de calidad (Sáenz *et al.* 2014, Escobar-Alonso y Rodríguez 2019). Por lo tanto, en esta investigación a partir del segundo muestreo destructivo realizado a finales de septiembre que representa a la segunda estacionalidad (verano), los grupos clonales registraron un valor de 1.69 que los clasifica como de calidad. Es decir que, a los seis meses, tienen suficiente balance entre sus biomásas aérea y subterránea, así como su relación estructural para establecerlas en campo.

Enraizado y supervivencia de los grupos clonales

El porcentaje promedio en el enraizado de estacas de este estudio (77.7%) es superior a 36.9% documentado por Ramos *et al.* (2022) en su estudio sobre propagación por estacas de árboles de *B. graveolens* en Ecuador. Estas diferencias podrían responder a que la evaluación de enraizado lo realizaron a los 45 días de establecidos y a diferencia de este estudio que se realizó a los 90 días; discuten que podrían mejorar esos valores si la evaluación lo realizaran en mayor tiempo. Por su parte, Mero *et al.* (2017) documentaron que *B. graveolens* es una especie difícil de propagar de manera asexual, puesto que al aplicar ácido indolbutírico (AIB) en concentraciones de 2 000-8 000 mg kg⁻¹ solo obtuvieron callos en la base de las estacas. Sin embargo, discuten que no consideraron la estacionalidad en la colecta de estacas y que pudo haber influido en el enraizado. En este sentido Hernández-Cruz *et al.* (2022) evaluaron el efecto de la estacionalidad primavera e invierno en el enraizado de *B. glabrifolia* y documentaron que en el invierno no se tuvo éxito debido a que no se propiciaron condiciones para la diferenciación de células parenquimatosas, que en lo posterior dieran origen a las raíces. Estudios sobre el enraizado de estacas en especies de *Bursera* que recomiendan establecer experimentos en la primavera (Bonfil-Sanders *et al.* 2007, Castellanos-Castro y Bonfil 2013), refieren que es muy importante considerar la estacionalidad de colecta de estacas, debido a que en la estación de primavera los árboles se encuentran en reposo y defoliados, lo que se infiere en que tienen sus reservas disponibles para el enraizado.

CONCLUSIONES

Los clones del árbol orteto 9 y 8 en la estación de invierno evidenciaron mayores tasas de crecimiento en sus variables longitud y diámetro de brote, longitud y diámetro de raíz, y por lo tanto obtuvieron mayor calidad en sus índices estructurales principalmente en el índice de Dickson. Los clones presentaron porcentajes de enraizado superiores al 70% y que a los seis meses de su establecimiento en condiciones de vivero mostraron suficiente calidad morfológica para establecerse en campo.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para los estudios de Doctorado en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores del presente manuscrito declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Aguirre MZ, Cabrera GO (2021) Parámetros poblacionales y renegación natural de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch (Burseraceae) en Zapotillo, Ecuador. *Arnaldoa* 28(2): 305-318. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.282.28203>.
- Aldrete A, Sánchez VJR, Aguilera RM, Rodríguez TDA (2023) Calidad de planta en viveros forestales. In: Aldrete A, Sánchez-Velásquez JR, Aguilera-Rodríguez M, Cibrián-Tovar D, García-Díaz SE (eds) Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México, México. pp. 19-39.
- Basave VE, Rosales MS, Sigala RJA, Calixto VCG, Sarmiento LH (2017) Cambios morfo-fisiológicos de plántulas de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) M. C. Johnst ante diferentes ambientes de luz en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(44). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i44.107>.
- Bautista-Ojeda GI, Vargas-Hernández JJ, Jiménez-Casas M, López-Peralta MCG (2022) Manejo de planta y aplicación de AIB en el enraizado de estacas de *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 28(1): e2812060. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812060>.
- Bernaola-Paucar RM, Ruiz-Blandon B, Salcedo-Pérez E, Zapata-Hernández I (2022) Factores de manejo en vivero que influyen sobre crecimiento y supervivencia de *Pinus Douglasiana* en México. *Bosque* 43(2): 101-115. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002022000200101>.
- Bonfil-Sanders C, Mendoza-Hernández PE, Ulloa-Nieto JA (2007) Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 41(1): 103-109.
- Castellanos-Castro C, Bonfil C (2013) Propagation of three *Bursera* species from cuttings. *Botanical Sciences* 91(2): 217-224.
- Castellanos-Castro C, Bonfil SC (2010) Establecimiento y crecimiento inicial de estacas de tres especies de *Bursera* Jacq. Ex L. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2): 93-108.
- Chairez-Aquino AZ, Velasco-Velasco VA, Enríquez-del Valle JR, Rodríguez-Ortiz G, Ruíz-Luna J (2024) Crecimiento e índices de la calidad de plantas de durazno (*Prunus* spp.), establecidas en diferentes sustratos bajo condiciones de vivero para seleccionarse como portainjerto. *Revista Bio Ciencias* 11: e1556. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1556>.
- De-Jesús AF, Ignacio HR, Rodríguez TDA, Mohedano CL (2021) Calidad de planta de *Quercus rugosa* Née en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(67): 147-167. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.967>.
- Escobar-Alonso S, Rodríguez TDA (2019) Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(55). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>.
- García-Aguilar JA, Luna-Cedeño J, Rodríguez-Ortiz G, Leyva-López JC (2021) Acumulación de biomasa en estacas de cuatro especies de *Bursera* en Oaxaca. *Ciencia ergo-sum* 28(2): e126. <https://doi.org/10.30878/ces.v28n2a9>.
- García-Aguilar JA, Sandoval-García R, Enríquez-del Valle JR, Rodríguez-Ortiz G, Leyva LJC, Martínez DCJ (2025) Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la microcuenca Magdalena Tequisistlán, Oaxaca, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystem* 28(46): 1-14. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5653>.
- García-García NV, Flores-Torres A, Valencia-Díaz S, Emeterio-Lara A, Vergara-Torres AA, Morales-Linares J, Ríos-Gomez MY (2022) Vegetative propagation of boreal species of ecological and cultural importance in the tropical dry forest. *Agrociencia* 56(5): 1-10. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i5.2447>.

- Gergoff GGE, Giménez DO (2023) Estacas. In: Gergoff GGE, Ruscitti MF, Giménez DO (coords.) Introducción a la propagación vegetal: de la fisiología a la práctica integrada. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina. pp. 92-140.
- González PA, Rodríguez TD, Corona-Ambríz A, Vera-Castillo JAG (2019) Propagación por estacas y calidad de planta en *Acer negundo* L. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 10(51): 224-243. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.183>.
- González PA, Rodríguez TDA, Corona AA, Vera CJAG (2018) Propagación por estacas y calidad de planta en *Acer negundo* L. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 10(51): 224-243. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.183>
- Grossnickle SC, MacDonald JE (2018) Seedling Quality: History, application, and plant attributes. Forests 9(5): e283. <https://doi.org/10.3390/f9050283>.
- Hartmann HT, Kester DE, Davies JFT, Geneve RL (2010) Hartmann and Kester's plant propagation: Principles and practices (9th ed.). Pearson Education Limited. Edinburgh, United Kingdom. 927 p.
- Hernández RA, Valdez-Lazalde JR, Ángeles-Pérez G, De los Santos-Posadas HM, Hernández-Ramos J, Peduzzi A, Carrero O (2021) Medición del índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 12(63): 114-137. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.808>.
- Hernández-Cruz KH, Córdova-Campos O, García-Figueroa G, García-Pérez F (2022) Propagación asexual de *Bursera glabrifolia* (Sapindales: Burseraceae) bajo diversas condiciones agronómicas de crecimiento. Biotecnia 24(2): 120-126. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1513>.
- Hernández-García E, Barrales-Alcalá B, Bonfil C (2024) Evaluación del desempeño inicial de estacas y plántulas en una plantación de copales (*Bursera copallifera* y *B. bipinnata*). Botanical Sciences 102(4): 1062-1079. <https://doi.org/10.17129/botsci.3481>.
- INEGI (2022) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ortoimágenes. <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/#Descargas>. Consultado el 12 de marzo de 2025.
- Lamhamedi MS, Pepin S, Khasa D (2023) The production chain of tree seedlings, from seeds to sustainable plantations: An essential link for the success of reforestation and restoration programs in the context of climate change. Forests 14(1693). <https://doi.org/10.3390/f14091693>
- Mendoza-Arroyo GE, Morón-Ríos A, González-Espinoza M, Alayón-Gamboa JA, Macario-Mendoza PA (2020) La supervivencia y desarrollo de plántulas de *Brosimum alicastrum* (Moraceae) y *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) difieren en condiciones de inundación. Acta Botánica Mexicana 127: e1548. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1548>.
- Mero JOF, Cuásquer FE, García LLM, Ramos RMP, Jiménez GAL (2017) Efecto de reguladores de crecimiento tipo auxínico para la regeneración de tejido vegetal en *Bursera graveolens*. Revista Cubana de Ciencias Forestales 5(3): 259-269.
- More P, Cuellar J, Salazar E (2021) Propagación vegetativa de *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page "Ulcumano" en cámara de subirrigación en Chanchamayo/ Perú. Ecología Aplicada 20(1): 15-23. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1687>.
- Morillo ILF, Eras GVH, Moreno SJ, Minchala PJ, Muñoz CL, Yaguana AM, Poma AR, Valarezo OC, Sinche FM (2016) Estudio fenológico y propagación de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch, en la comunidad de Malvas, Canton Zapotillo, provincia de Loja. Bosques Latitud Cero 6(2): 1-15.
- Paz PM, Rodríguez TDA, Villanueva MA, Borja-De la Rosa MAM (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>.
- Prieto-Ruíz JA, Pérez-Luna A, Manríquez-Santillán MA, Hernández-Díaz JC, Montiel-Antuna E, Soto-Cervantes JA (2022) Supervivencia y crecimiento radicular en estaquillas tiernas y lignificadas de

- cedro limón con diferentes sustratos y enraizantes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(73): 155-174. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1220>.
- Ramírez-Contreras A, Rodríguez-Trejo DA (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.
- Ramos VRA, Yagual GAA, Carpio CCF, Ramos VMR (2022) Propagación de árboles de *Bursera graveolens* (Kunt) Triana & Planch, por estacas. *AlfaPublicaciones* 4(3.2): 40-55. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.276>.
- Reyes-Reyes J, Rodríguez-Morales JA, Pimienta de la Torre DJ, Fuentes PMA, Aguirre MJF, Merino GA (2021) Diagnóstico de la calidad de planta en el vivero forestal El Campanario, Tuxtla Chico, Chiapas. *E-CUCBA* 17(9): 29-37. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi17.207>
- Rodríguez TDA (2008) Indicadores de calidad de planta forestal. Editorial Mundi Prensa. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 150p.
- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio J de D, Saenz-Reyez JT, Muñoz FHJ, Prieto-Ruiz JÁ, Orozco GG (2014) Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58-73. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350>
- Rzedowski J, Medina LR, Calderón DRG (2004) Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Botánica Mexicana* 66: 23-151.
- Rzedowski J, Medina-Lemos R (2022) Clave para identificar las especies del género *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) en el estado de Michoacán, México. *POLIBOTÁNICA* 1(54): 1-10. <http://doi.org/10.18387/polibotanica.54.1>.
- Sáenz RT, Muñoz FHJ, Pérez DCM, Rueda SA, Hernández RJ (2014) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26): 98-111.
- SAS Institute Inc. (2022) The SAS System for Windows User's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA. 35 p.
- Solís CA, Jiménez V, Arias J (2015) Propagación asexual de mata (*Justicia tinctoria* (oerst) D.N. Gibson, Fam. Acanthaceae) por medio de estacas. *Agronomía Costarricense* 39(2): 91-103.
- Tinco ME (2024) Propagación de estacas de higo (*Ficus carica* L.) bajo enraizadores naturales en distintos tiempos de sumersión. *Revista De Investigación E Innovación Agropecuaria Y De Recursos Naturales* 11(1): 47-56. <https://doi.org/10.53287/zecr7375iw83w>.
- Vallejo RMA, Cob UJV (2021) Tópicos y perspectivas de la investigación científica sobre el mejoramiento genético de especies perennes en INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(1): 154-176. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.1089>.
- Villalón-Mendoza H, Ramos-Reyes JC, Vega-López JA, Marino B, Muños-Palomino MA, 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.