

Producción en viveros de plántulas de café con poda de raíces en sustratos

Moisés Márquez-Velázquez¹
Víctor Manuel Ordaz-Chaparro^{1,5}
Rosa María López-Romero¹
Arnulfo Aldrete¹

1 Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Autor para correspondencia: ordaz@colpos.mx

Resumen

Con el propósito de mejorar la producción tecnificada de plantas de café, se evaluó el efecto de la nutrición con fertilizantes de liberación controlada y la poda química de raíces en vivero durante 275 días en 2021. Se evitó el uso de suelo, empleando como sustrato una mezcla de aserrín de pino, tezontle (escoria volcánica) y vermicomposta (3:1:2 V:V). Las plantas se establecieron en contenedores de un 1 L con dos plántulas injertadas de café (*Coffea arabica* var. Costa Rica sobre *Coffea canephora* var. Robusta). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3×2 , el primer factor correspondió a tres dosis de FLC (7, 9 y 11 g L^{-1}) y el segundo a la presencia o ausencia de recubrimiento interno de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ al 7%, aplicado para propiciar la poda química. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro del tallo, peso seco de la parte aérea y radicular, volumen de raíz y concentración nutrimental en la parte aérea. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los niveles de fertilizantes de liberación controlada y la poda química, con interacción significativa solo para el diámetro del tallo. La dosis de 11 g L^{-1} combinada con la poda química produjo los mayores valores en la altura de planta, diámetro del tallo, peso seco de la parte aérea y volumen de raíz. La concentración nutrimental no presentó diferencias estadísticas entre dosis de fertilizantes de liberación controlada; sin embargo, los tratamientos con $\text{Cu}(\text{OH})_2$ mostraron mayores valores para K, Fe, Mg y Cu. La combinación de fertilizantes de liberación controlada y poda química favoreció la formación de plantas con características morfológicas deseables para el trasplante en campo.

Palabras clave:

fertilizante de liberación controlada, poda química de raíces, potencial de crecimiento radicular.



Introducción

La producción tradicional de plántulas de café se lleva a cabo mediante el uso de suelo en bolsas, sin una dosis estandarizada de fertilización y con una alta probabilidad de transmitir patógenos del suelo a nuevas regiones (Tablas-González *et al.*, 2021). La producción de plantas en vivero permite proporcionar los cuidados y tratamientos adecuados para favorecer la germinación y el crecimiento, con el fin de alcanzar altas tasas de supervivencia y un desarrollo óptimo en el campo (Muñoz-Flores *et al.*, 2014).

El aserrín y el tezontle son sustratos adecuados para disminuir los costos de producción de plantas en vivero (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2017; Estrada-Botello *et al.*, 2024). La fertilización en vivero puede modificar de manera positiva el desarrollo de las plantas tanto en la parte aérea como en la radicular, al alterar el contenido nutricional de los tejidos y las reservas acumuladas (Aimi *et al.*, 2019; Heras-Marcial *et al.*, 2023).

En especies forestales como Pino Prieto (*Pinus greggii* var. *Australis*) y Teca (*Tectona grandis*), la nutrición en viveros se ha optimizado mediante el uso de fertilizantes de liberación controlada, los cuales liberan los nutrientes de manera paulatina de acuerdo con el tiempo de formulación (4 o 8 meses) y la composición (18-6-12 + 2MgO + micro nutrientes) (Escamilla-Hernández *et al.*, 2015; Castro-Garibay *et al.*, 2018). Este tipo de fertilizantes reducen las pérdidas por lixiviación y elimina la necesidad de sistemas de fertirriego (Rose *et al.*, 2004).

La acción del recubrimiento interno de los contenedores con sales de hidróxido de cobre $\text{Cu}(\text{OH})_2$ inhibe la división celular en las raíces apicales, lo que promueve la formación de raíces secundarias más abundantes y activas en la absorción de agua y nutrientes. Esta tecnología es común en viveros forestales y ha mostrado resultados sobresalientes en la producción de plántulas de *Pinus patulas* (Aguilera-Rodríguez *et al.*, 2021).

La poda química de raíces representa una práctica alternativa y novedosa en la producción de plántulas de café y puede complementarse con la aplicación de fertilizantes de liberación controlada para mejorar la eficiencia de producción y la calidad de las plantas en vivero (Zhou *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2025). Bajo este contexto el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la nutrición con fertilizantes de liberación controlada y la poda química de raíces en la producción de plántulas de café producidas en vivero.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento se realizó en el municipio de Ixhuatlán del café, Veracruz, México, ubicado a los 19° 03' 05" latitud norte y 96° 58' 16" longitud oeste, a una altitud de 1 180 m. El vivero contó con una cubierta de malla sombra del 70%, bancales y raquetas con cinco cavidades para tubetes o contenedores de 1 L, además de un sistema de riego por cintilla de goteo.

Material vegetal

El ensayo tuvo una duración de 275 días. Se utilizaron plántulas injertadas con patrón de *Coffea cannefora* var. Robusta y como yema *Coffea arabica* var. Costa Rica, previo a la aparición de las primeras hojas verdaderas (etapa conocida como soldadito).

Preparación del sustrato

El sustrato se preparó con una mezcla de tres partes de aserrín de pino (v/v), una parte de tezontle con partículas menores a 2 cm de diámetro y dos partes de vermicomposta elaborada con 25% de cachaza, 25% de estiércol vacuno y 50% de pulpa de café. En cada contenedor se trasplantaron dos plántulas injertadas.

Las características del sustrato fueron: pH 4.7, conductividad eléctrica 3.44 dS m⁻¹; porosidad total (Pt) 53%, porosidad de aireación (Pai) 15%, porosidad de retención de agua (Pra) 38%, diámetro medio ponderado de partículas (DMP) 2.94 mm, índice de grosor (I) 44 y densidad aparente (Da) 0.35 g cm⁻³.

Manejo nutricional

La nutrición se efectuó mediante la aplicación de fertilizante de liberación controlada (*Multicote*®) con la fórmula 18-6-12 + 2MgO + 1S + micro nutrimentos (0.4Fe + 0.055Mn + 0.03B + 0.06Zn + 0.045Cu + 0.01Mo) (Haifa Chemicals Ltd.), en proporción de 50% de 4 meses y 50% de 8 meses del tiempo de liberación, de esta mezcla se aplicaron tres dosis: 7, 9 y 11 g L⁻¹ consideradas como tres niveles del factor de fertilización. Además, se realizaron aplicaciones foliares quincenales del fertilizante Bonus Haifa® (13-02-44 + micronutrimentos) a una concentración del 2.5%, iniciadas después de la aparición del segundo par de hojas verdaderas y mantenidas hasta el final del ensayo.

Poda química de raíces

La poda química de raíces se realizó mediante la impregnación de las paredes internas de los contenedores con una solución de Cu(OH)₂ al 7% disuelta en sellador acrílico comercial. Este tratamiento se consideró como un segundo factor, con dos niveles: contenedores con y sin recubrimiento.

Diseño experimental

La combinación de los tres niveles de fertilización de liberación controlada y los dos niveles de recubrimiento de tubetes con cobre originó un total de seis tratamientos (3 x 2), como se muestra en el Cuadro 1, cada uno con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió en 20 tubetes, con 2 plantas tubete⁻¹.

Cuadro 1. Tratamientos para la producción de plántulas injertadas de café*.

Tratamientos	Dosis de fertilizante de liberación controlada (FLC) (g L ⁻¹)	Recubrimiento en las paredes internas de los tubetes
1	7	Cu(OH) ₂ al 7%
2	9	Cu(OH) ₂ al 7%
3	11	Cu(OH) ₂ al 7%
4	7	Sin recubrimiento
5	9	Sin recubrimiento
6	11	Sin recubrimiento

*= desarrolladas en sustratos compuesto por tres partes de aserrín de pino y una parte de tezontle más dos partes de vermicompost, utilizando contenedores (tubetes) de 1 L, impregnados en su interior con una solución de hidróxido de cobre y sin impregnar.

La evaluación se efectuó después de 275 días en vivero (nueve meses). Las variables consideradas fueron la altura de la planta desde la base de la misma, el diámetro del tallo a una distancia de 2 cm desde la base de la planta. Posteriormente, las plantas se separaron en parte aérea y raíces. Estas últimas se lavaron cuidadosamente para eliminar cualquier partícula de sustrato y su volumen se determinó mediante el principio de Arquímedes que considera el peso del volumen desplazado cuando las raíces fueron sumergidas en agua (Cisneros-Rojas *et al.*, 2016). Tanto la parte aérea como las raíces se secaron a 70 °C hasta alcanzar peso constante. El peso seco se obtuvo con una balanza analítica.

Concentración de nutrimentos en la parte aérea

El material seco correspondiente a la parte aérea se molió y se pasó por una malla núm. 40 para obtener una muestra homogénea. La concentración de nitrógeno se determinó mediante el método semimicro-Kjeldahl. Las concentraciones de P, K, Mg, Fe, Cu y Mn se determinaron mediante digestión húmeda con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Jones *et al.*, 1991). Los macros y micronutrimentos se cuantificaron con un equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP) modelo 725-ES (Varian®).

Determinación de las características del sustrato

Las propiedades físicas del sustrato incluyeron porosidad total (Pt), porosidad de aireación (Pa), porosidad de retención de agua (Pra), granulometría y curvas de retención de agua. Las propiedades químicas consideradas fueron pH y conductividad eléctrica (CE), determinadas en una relación agua: sustrato 3:1 (v/v). El contenido de materia orgánica se determinó por incineración a 450 °C durante 1 h.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (Anova) y a la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), considerando como factores el nivel de fertilización y la presencia de recubrimiento con cobre. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS® versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2013).

Resultados

Variables morfológicas de las plantas de café

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las dosis de fertilizante de liberación controlada (FLC) y la poda química de raíces en la mayoría de las variables morfológicas evaluadas (Cuadro 2), excepto en el peso seco de raíz (PSR) para el factor FLC. La interacción entre ambos factores fue significativa únicamente para el diámetro del tallo.

Cuadro 2. Valores promedio de las características morfológicas en plantas de café producidas durante 275 días en un vivero usando contenedores (tubetes) de 1 L y sustrato compuesto de aserrín, tezontle y composta.

Trat.	Dosis FLC (g L ⁻¹)	Poda química	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	PSPA (g)	VRad (cm ³)	PSR (g)
T1	7	Con poda	26.91 ±3.5ab*	2.71 ±1.1b	5.76 ±1.4b	8.39 ±2.4abc	2.63 ±0.63a
T2	9	Con poda	26.78 ±3.3b	2.8 ±1.2b	5.63 ±1.3b	9.37 ±2.8ab	2.34 ±0.95a
T3	11	Con poda	28.11 ±3.3a	3.19 ±0.6a	6.73 ±1.4a	9.55 ±2.7a	2.52 ±0.78a
T4	7	Sin poda	23.79 ±3c	2.59 ±0.6bc	4.79 ±1.2c	7.36 ±2.1c	1.6 ±0.44a
T5	9	Sin poda	24.25 ±3.3c	2.34 ±0.6c	4.85 ±1.1 c	8.01 ±2.5bc	1.53 ±0.56a
T6	11	Sin poda	24.86 ±3.2c	2.59 ±0.7bc	5.23 ±1.4cb	7.95 ±2.6bc	1.64 ±0.64a
DMSH			1.31	0.337	0.76	1.45	0.56

*= letras iguales en la misma columna indican ausencia de diferencias significativa. (Tukey < 0.05); FLC= fertilizante de liberación controlada; PSPA= peso seco de la parte aérea; VRad= volumen radicular; PSR= peso seco de la raíz. Valores expresados como promedio ± desviación estándar q (n= 5).

El FLC influyó en la altura de las plantas, el diámetro del tallo, el volumen radicular y el peso seco de raíz, con respuestas estadísticamente significativas (Franco-Junior *et al.*, 2019; Reis *et al.*, 2023) reportó el efecto manera positivo en las variables morfológicas de plántulas de café producidas en tubetes y al aplicar fertilizante de liberación controlada *Multicote*®.

La poda química de raíces generó diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) en todas las variables morfológicas excepto en PSR. La poda química influyó de manera positiva en la altura de plantas (tratamientos 1, 2 y 3). En la variable de diámetro de tallo, el tratamiento con el mayor valor correspondió al T3 con poda química. En la variable de PSPA, el tratamiento con el mayor valor correspondió aquel con poda química (T3) caso similar para Vrad. La poda química no influyó en el PSR. En general, los tratamientos sin aplicación de cobre (T4, T5 y T6) presentaron las menores alturas.

Los hallazgos de Arizaleta y Pire (2008), observaron que el uso de suelo como sustrato no generó diferencias significativas en la altura de las plántulas de café a dosis de fertilización comparables con las del presente estudio. Por el contrario, Marana *et al.* (2008); Bachião *et al.* (2018) obtuvieron plantas con características morfológicas favorables al aplicar dosis cercanas a 10 kg m⁻³ de FLC en sustratos alternativos sin poda de raíces.

En cuanto al diámetro del tallo, se reportaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T3 (11 g L⁻¹ de FLC con poda química) presentó el valor más alto, mientras que el tratamiento T5 (9 g L⁻¹ de FLC y sin poda química) obtuvo el menor diámetro. Un tallo más grueso contribuye a la estabilidad de las plantas durante el trasplante al campo (Marana *et al.*, 2008) y se asocia con una mayor probabilidad de sobrevivencia (Birchler *et al.*, 1998).

El peso seco total varió entre 7.36 a 9.55 g, con diferencias significativas entre tratamientos. El valor máximo correspondió al tratamiento T3, con la dosis más alta de FLC (11 g L⁻¹). Estudios previos reportaron incrementos similares en materia seca con dosis de FLC cercanas a 10 g L⁻¹ (Bustamante-González y Ferrás-Negrín, 2020; Sánchez-Esmoris *et al.*, 2024).

Los tratamientos que incluyeron poda química con Cu(OH)₂ presentaron mayor volumen y peso seco de raíces, efecto consistente con lo observado en *Pinus greggii* (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004) y *Physalis peruviana* (Marchioretto *et al.*, 2020), donde el contacto con sales de cobre incrementó la densidad y biomasa radicular.

Contenido nutrimental en la parte aérea

La dosis de FLC no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de nutrimentos en la parte aérea (Cuadro 3). No obstante, los tratamientos con recubrimiento interno de Cu(OH)₂ presentaron concentraciones más altas de la mayoría de los nutrimentos analizados, con excepción del nitrógeno. Este comportamiento coincide con los datos encontrados con Marchioretto *et al.* (2020) en plantas de *Physalis peruviana*, en donde el incremento de la concentración en sales de cobre para la poda incrementaba la absorción de N.

Cuadro 3. Respuesta en el contenido nutrimental en la parte aérea de las plantas de café producidas en tubetes durante ocho meses en vivero.

Trat.	FLC	Poda química	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Mn
	(g L ⁻¹)		(%)			(mg kg ⁻¹)			
1	7	Con poda	2.85 ±0.14b*	0.35 ±0.02a	1.96 ±0.05a	0.27 ±0.01a	146 ±9ab	3 ±0.6a	81 ±1.79b
2	9	Con poda	2.91 ±0.05ab	0.3 ±0.02b	1.81 ±0.14a	0.24 ±b	149 ±16ab	4 ±0.2a	102 ±13a
3	11	Con poda	2.88 ±0.03ab	0.29 ±0.01b	1.6 ±0.03b	0.22 ±b	155 ±14a	4 ±0.7a	118 ±2a
4	7	Sin poda	3.01 ±0.03ab	0.24 ±0.02c	1.15 ±0.03c	0.17 ±c	121 ±10bc	2 ±0.08b	69 ±3b
5	9	Sin poda	3.05 ±0.01a	0.22 ±0.01d	1.08 ±0.02c	0.17 ±c	102 ±2c	2 ±0.17b	72 ±3b
6	11	Sin poda	3.07 ±0.05a	0.22 ±0.01d	1.07 ±0.01c	0.16 ±c	129 ±8bc	2 ±0.16b	72 ±3b
DMSH			0.2	0.016	0.18	0.019	31.01	1.11	15.39

Trat.= tratamiento; FLC= fertilizante de liberación controlada; *= letras iguales en la misma columna indican ausencia de diferencias significativa (Tukey <0.05). Valores expresados como promedio ± desviación estándar (n= 3).

En el caso del nitrógeno, hubo diferencias significativas entre el tratamiento T1 a comparación de los tratamientos T5 y T6 siendo mayor en estos últimos. La poda química incrementó en promedio 0.18% la concentración de N en la parte área, aunque sin significancia estadística. De acuerdo con Jones *et al.* (1991) los elementos K, Mg y Cu presentaron concentraciones por debajo de los niveles óptimos, aunque las plantas no mostraron síntomas de deficiencia visible (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2016).

Los niveles de fósforo se clasificaron como bajos (Jones *et al.*, 1991), sin manifestación de deficiencias visibles. El tratamiento T1 (7 g L⁻¹ de FLC con poda química) mostró diferencias significativas para este elemento. Chagas *et al.* (2016) reportaron que los fertilizantes de liberación controlada pueden mejorar la eficiencia agronómica del fósforo en plantas de café.

La concentración de Mg se consideró deficiente, aunque sin síntomas visibles. Su valor fue significativamente alto ($p < 0.05$) en el tratamiento T3 y bajo en los tratamientos sin poda química. Situación similar para el K, siendo estadísticamente mayor en los tratamientos con poda química; sin embargo, a nivel de FLC no hubo efectos estadísticamente hablando.

En cuanto al Fe, el tratamiento T5 presentó el valor más bajo, mientras que los tratamientos con poda química mostraron concentraciones similares y dentro del rango óptimo (Jones *et al.*, 1991). Para el caso de Cu los valores son mayores en los tratamientos con poda química y se acercan a los valores de concentración en tejido vegetal que se consideran normales siendo de 5 a 30 mg kg⁻¹ (Napoli *et al.*, 2019). Los contenidos de Mn fueron más altos en los tratamientos T2 y T3, con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos; sin embargo, estos valores no se consideran deficientes conforme a los rangos de referencia establecidos por Jones *et al.* (1991).

Conclusiones

El efecto de la nutrición con fertilizante de lenta liberación en plantas de café de vivero, producidas en contenedores y en sustrato, compuesto con tres partes de aserrín de pino (v/v), una parte de toba volcánica (tezontle) con partículas menores a 2 cm de diámetro y dos partes de vermicomposta, se observó que con una de las tres dosis probadas (11 g L⁻¹) de fertilizante de lenta liberación, produjo plantas con diámetros de tallos más gruesos y aumentos de peso seco de la parte área. La poda química de raíces promovió el incremento en la biomasa radicular, así como un mayor volumen de éstas, resultando con condiciones deseables para el trasplante y supervivencia en campo.

Bibliografía

- 1 Aguilera-Rodríguez, M.; Aldrete, A.; Martínez-Trinidad, T. y Ordaz Chaparro, V. M. 2017. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(34):007-019. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.79>.
- 2 Aguilera-Rodríguez, M.; Aldrete, A.; Vargas-Hernández, J. J.; López-Upton, J.; López-López, M. Á. y Ordaz-Chaparro, V. M. 2021. Morfología y crecimiento potencial de raíz de *Pinus patula* producido en charolas con poda radical. *Agrociencia*. 55(1):81-97. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i1.2349>.
- 3 Aimi S. C.; Araujo, M. M.; Fermino, M. H.; Tabaldi, L. A.; Zavistanovicz, T. C. and Mieth, P. 2019. Substrate and fertilization in the quality of *Myrcarpus frondosus* seedlings. *Florest*. 49(4):831-840. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v49i4.59748>.
- 4 Alcántar-González, G. y Trejo-Téllez, L. I. 2016. Nutrición de cultivos. 2da. Edición. Colegio de Posgraduados. 25-26 pp.

- 5 Arizaleta, M. y Pire, R. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia*. 42(1):47-55. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-31952008000100006&script=sci-arttext>.
- 6 Bachião, P. O. B.; Maciel, A. L. R.; Avila, R. G. y Campos, C. N. 2018. Crescimento de mudas de cafeeiro em tubetes com fertilizante de liberação lenta. *Revista Agrogeoambiental*. 10(1):105-116. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181100>.
- 7 Barajas-Rodríguez, J. E.; Aldrete, A.; Hernández, J. V. y Upton, J. L. 2004. La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia*. 38(5):545-553. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/348>.
- 8 Birchler, T.; Rose, R. W.; Royo, A. y Pardos, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 7(1 y 2):109-121. <https://pdfs.semanticscholar.org/fc3f/61957c99b016cac3e5ae162fd57f93fb6342.pdf>.
- 9 Bustamante-González, C. A. y Ferrás-Negrín, Y. 2020. Efecto de dosis de fertilizante de liberación controlada sobre el desarrollo de posturas de cafeto. <https://cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/151>.
- 10 Castro-Garibay, S. L.; Aldrete, A.; López-Upton, J. y Ordaz-Chaparro, V. M. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *Australis* en vivero. *Agrociencia*. 52(1):115-127. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n1/1405-3195-agro-52-01-115.pdf>.
- 11 Chagas, W. F. T.; Guelfi, D. R.; Dominghetti, A. W.; Faquin, V.; Lopes, R. M. y Chagas, R. M. R. 2016. Eficiência agrônômica do superfosfato triplo revestido por polímeros no crescimento inicial do cafeeiro. *Coffee Science*. 11(3):427-435. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1202/pdf-1202-2>.
- 12 Cisneros-Rojas, C. A.; Sánchez-de Prager, M. y Menjivar-Flores, J. C. 2016. Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1):149-158. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22021>.
- 13 Escamilla-Hernández, N.; Obrador-Olán, J. J. y Carrillo-Ávila, E. 2015. Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(3):329-333. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n3/v38n3a12.pdf>.
- 14 Estrada-Botello, M. A.; Gayosso-Rodríguez, S.; Pérez-Cabrera, C. A. y Villanueva-Couoh, E. 2024. Caracterización física y química de residuos orgánicos locales con uso potencial como componentes de sustratos hortícolas. *Bioagro*. 36(2):211-222. <https://doi.org/10.51372/bioagro362.9>.
- 15 Franco-Junior, K. S.; Carvalho, J. S.; Guimarães, B. C.; Barbosa, C. K. R.; Brigante, G. P.; Dias, M. D. S.; Aprelini, A. and Silva, N. D. O. 2019. Evaluation of slow release fertilizer on the initial development and coffee production. *Coffee Science*. 14(4):538-543. <https://doi.org/10.25186/cs.v14i4.1651>.
- 16 Heras-Marcial, M.; Aldrete, A.; Gómez-Guerrero, A. and Rodríguez Trejo D. A. 2023. Influence of fertilization on survival and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. and Cham. under nursery and field conditions. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 29(1):3-14. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.019>.
- 17 Jones, J. J.; Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro publishing Inc. 185-200 pp.
- 18 Marana, J. P.; Miglioranza, É.; Fonseca, É. D. P. y Kainuma, R. H. 2008. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural*. 38(1):39-45. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100007>.

- 19 Marchioretto, L. D. R.; De Rossi, A. and Conte, E. D. 2020. Chemical root pruning improves quality and nutrient uptake of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings. *Scientia Horticulturae*. 261:108948. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108948>.
- 20 Muñoz-Flores H.; Sáenz-Reyes J.; Coria-Avalos V.; García-Magaña J.; Hernández-Ramos J. y Manzanilla-Quijada G. 2014. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(27):72-8. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.282>.
- 21 Napoli, M.; Cecchi, S.; Grassi, C.; Baldi, A.; Zanchi, C. A. and Orlandini, S. 2019. Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops. *Chemosphere*. 219:122-129. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.017>.
- 22 Reis, A. R.; Pazzetti, G. and Guelfi, D. R. 2023. Enhanced efficiency phosphorus fertilizer impact on physiological characteristics of coffee seedlings. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 14(12):492-504. <https://doi.org/10.4236/abb.2023.1412034>.
- 23 Rose, R.; Haase, D. L. y Arellano, E. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: Potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque (Valdivia)*. 25(2):89-100. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002004000200009>.
- 24 Sánchez-Esmoris, C.; Ferrás-Negrín, Y.; Ortiz-Gómez, N.; Ortiz-Albolaez, A. y Bermúdez-Ramírez, N. 2024. Efecto de proporciones de fibra de coco y dosis de Multicotetm en el desarrollo de posturas de café. *Café Cacao*. 23(1):1-6. <https://www.cafecacao.edicionescervantes.com/index.php/cafecacao/article/view/281>.
- 25 SAS Institute, Inc. 2013. User's guide (ver. 9.4) [software]. SAS Institute, Inc. <https://www.sas.com/es-mx/home.html>.
- 26 Tablas-González, I.; Guerrero-Rodríguez, J. D. D.; Aceves-Ruiz, E.; Álvarez-Calderón, N. M.; Laínez-Loyo, E. y Olvera-Hernández, J. I. 2021. El cultivo de café en Ojo de Agua de Cuauhtémoc, Malinaltepec, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12(6):1031-1042. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2736>.
- 27 Valdés-Zayas, D.; Rodríguez-González, L.; Ortiz-Arboláez, A.; Carrera-Sotero, O. L.; Pomares-Ortega, U. C. y Hernández-Quesada, M. C. 2023. Efecto combinado de cascarilla de arroz carbonizada con fertilizante de liberación controlada en el desarrollo de posturas de *Coffea arabica* L. var. 'Isla 6-14'. *Temas Agrarios*. 28(1):82-94. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3347>.
- 28 Wu, Z.; Zhang, Y.; Yang, M.; Yan, C.; Luo, Y.; Liu, J.; Liu, M. and Zhou, Y. 2025. The suitable copper concentration for controlling root entanglement of container-grown seedlings. *Pakistan Journal of Botany*. 57(5): 1647-1655. [https://doi.org/10.30848/PJB2025-5\(37\)](https://doi.org/10.30848/PJB2025-5(37)).
- 29 Zhou, Y.; Yang, M.; Deng, J.; Tai, Z.; Luan, D.; Zhu, S.; Jia, J.; Yang, Z.; Luo, Y. and Wu, W. 2023. Root morphology, growth and physiology in *Begonia* (*Malus × micromalus*) grown in copper hydroxide containers. *Canadian Journal of Plant Science*. 103(1):101-110. <https://doi.org/10.1139/cjps-2022-0090>.



Producción en viveros de plántulas de café con poda de raíces en sustratos

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2026
Date accepted: 01 June 2026
Publication date: 01 August 2026
Electronic Location Identifier: e4173
DOI: 10.29312/remexca.v17i5.4174

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

fertilizante de liberación controlada

poda química de raíces

potencial de crecimiento radicular

Counts

Figures: 0

Tables: 3

Equations: 0

References: 29