



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

**PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE
PLANTAS DE CAFÉ**

MOISÉS MÁRQUEZ VELÁZQUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe MOISÉS MÁRQUEZ VELÁZQUEZ, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARRO, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE PLANTAS DE CAFÉ

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 17 de JULIO de 2018



Firma del
Alumno (a)



DR. VÍCTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE PLANTAS DE CAFÉ realizada por el alumno: MOISÉS MÁRQUEZ VELÁZQUEZ, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

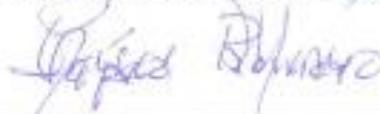
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARO

ASESORA



DRA. ROSA MARÍA LÓPEZ ROMERO

ASESOR



DR. ARNULFO ALDRETE

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2018

PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE PLANTAS DE CAFÉ

Moisés Márquez Velázquez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres dosis de nutrición y la poda química en el crecimiento de plantas de café producidas en vivero. El ensayo se realizó en el municipio de Ixhuatlán del café, Veracruz, en un vivero con malla sombra usando un sustrato de aserrín, tezontle y composta (3:1:2 v/v) en contenedores de 1 L. Se trasplantaron 2 plantas injertadas por contenedor. Se aplicó fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote® (18-6-12) + micro elementos, en tres dosis: 7, 9 y 11 g L⁻¹. En los tratamientos con la poda química de raíces se les aplicó un recubrimiento de Cu(OH)₂ al 7% dentro de las paredes del contenedor. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2 resultando 6 tratamientos y 5 repeticiones, cada una con 20 tubetes. Se midieron las propiedades del sustrato: porosidad, retención de humedad y liberación de agua, pH, conductividad eléctrica y relación C/N. después de ocho meses se evaluaron las variables morfológicas: altura, diámetro de tallo, peso seco de la planta y volumen de raíz. Se realizó un análisis foliar para evaluar N, P, K, Mg, Cu, Fe y Mn. No hubo diferencias entre las dosis de fertilizante de liberación controlada y las concentraciones nutrimentales en las hojas, sin embargo, resaltaron los tratamientos a los que se les aplicó poda química. Se presentaron concentraciones por debajo de niveles óptimos para algunos nutrientes como potasio (de 1.96 a 1.07%), Mg (de 0.27 a 16%) y Cu (de 3.3 a 1.7 ppm), pero no se presentaron síntomas visuales de deficiencia en ningún tratamiento. La dosis de 11 g L⁻¹ con poda química de raíces fue estadísticamente ($p < 0.05$) superior en el peso seco de la parte aérea y el diámetro de tallo.

El transplante de las plantas para la prueba de potencial de crecimiento radicular se realizó a los 8 meses de estar en un vivero de malla sombra a bolsas de plástico durante un mes. La dosis de FLC no tuvo efectos significativos en ninguna de las 2 variables, el efecto de la poda química fue significativo para el peso seco de raíz y el volumen radical.

Palabras clave: fertilizante de liberación controlada, sustratos, poda química de raíces, potencial de crecimiento radicular

TECHNICAL PRODUCTION OF COFFEE PLANTS

Moisés Márquez Velázquez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the effect of three doses of nutrition and chemical pruning on the growth of coffee plants produced in nursery. The trial was conducted in the municipality of Ixhuatlán del café, Veracruz, in a nursery with shade mesh using a substrate of sawdust, tezontle and compost (3: 1: 2 v / v) in 1 L containers. Two grafted plants were transplanted Per container. Controlled release fertilizer (FLC) Multicote® (18-6-12) + micro elements were applied in three doses: 7, 9 and 11 g L⁻¹. In treatments with root chemical pruning, a 7% Cu (OH) 2 coating was applied inside the walls of the container. The experimental design was completely randomized with factorial arrangement 3 x 2 resulting in 6 treatments and 5 repetitions, each with 20 tubes. The properties of the substrate were measured: porosity, moisture retention and water release, pH, electrical conductivity and C / N ratio. after eight months the morphological variables were evaluated: height, stem diameter, dry weight of the plant and root volume. A foliar analysis was performed to evaluate N, P, K, Mg, Cu, Fe and Mn. There were no differences between the doses of controlled release fertilizer and the nutrient concentrations in the leaves, however, the treatments to which chemical pruning applied were highlighted. Concentrations below optimal levels were presented for some nutrients such as potassium (from 1.96 to 1.07%), Mg (from 0.27 to 16%) and Cu (from 3.3 to 1.7 ppm), but there were no visual symptoms of deficiency in any treatment. . The dose of 11 g L⁻¹ with chemical root pruning was statistically (p <0.05) higher in the dry weight of the aerial part and the stem diameter. The transplant of the plants for the root growth potential test was carried out after 8 months of being in a shaded mesh nursery to plastic bags for a month. The dose of FLC had no significant effect on any of the 2 variables, for chemical pruning if there were significant differences in root dry weight and root volume.

Key words: controlled release fertilizer, substrates, root chemical pruning, root growth potential

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados** por contribuir a mis formación académica y a todo su personal académico.

Al **Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro** por el apoyo, la guía académica y sus sabios consejos durante la maestría.

A la **Dra. Rosa María López Romero** por enseñarme siempre a buscar la calidad y mejorar el trabajo.

Al **Dr. Arnulfo Aldrete** por las sugerencias, atinadas correcciones y paciencia durante el experimento y del documento.

A la **Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza** por su apoyo y motivación en la última etapa de la maestría pero no menos importante.

Al personal del **Laboratorio de Física de Suelos** por su gran ayuda durante las pruebas y evaluaciones.

DEDICATORIAS

A mi madre **Yolanda** por guiarme con ética, a mejorar como persona y sacarme de momentos difíciles, a mi padre **Miguel Ángel** por la curiosidad, gusto a la lectura e inconformidad de cambiar para bien.

A mis **Hermanos** por los momentos compartidos, porque admiro su ingenio y creatividad, también por la unión que nos ha caracterizado y ojala siga por muchos más años.

A mis amistades de antes y después de la maestría que han compartido tiempo y consejos.

A todos los que me apoyaron... gracias

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
LITERATURA CITADA	5
REVISIÓN DE LITERATURA	7
EL CULTIVO DE CAFÉ	7
PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA Y VIVEROS	7
LOS SUSTRATOS.....	10
FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA.....	12
MORFOLOGÍA DE RAÍCES	14
LA PODA QUÍMICA Y EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR (PCR)	14
LITERATURA CITADA	16
CAPÍTULO I. EFECTO DE LA NUTRICIÓN Y PODA DE RAÍCES EN LAS PLANTAS DE CAFÉ EN VIVERO	22
1.1 RESUMEN.....	22
1.2 INTRODUCCIÓN.....	23
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS	24
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
1.5 CONCLUSIONES.....	35
1.6 LITERATURA CITADA	36

CAPITULO II. POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR EN PLANTAS DE CAFÉ TRATADAS CON HIDROXIDO DE COBRE.....	38
2.1 RESÚMEN.....	38
2.2 INTRODUCCIÓN.....	39
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
2.5 CONCLUSIONES.....	47
2.6 LITERATURA CITADA	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos generados para la producción de las plantas de café desarrolladas en sustratos en tubetes de un litro. 26
- Cuadro 2.** Valores promedio de las características morfológicas en plantas de café producidas durante 8 meses en un vivero con tubetes de un litro con sustrato compuesto de aserrín, tezontle y composta. 30
- Cuadro 3.** Respuesta en base al contenido nutrimental en la parte aérea de las plantas de café producidas en tubetes durante 8 meses en vivero. 33
- Cuadro 4.** Datos de la prueba de potencial de crecimiento radicular con valores de peso y volumen radicular antes y después de realizar la prueba. 45

INTRODUCCIÓN GENERAL

A pesar de la gran variedad de problemas que enfrenta la industria cafetalera se sigue cultivando con entusiasmo en varios estados de la República. La difusión del café es a escala global y México tiene un gran potencial para producir grano del aromático en gran cantidad y calidad, la demanda del café ha ido en aumento y su grado de especialización es mayor, desde las producciones en grandes volúmenes para café solubles hasta los café “Gourmet” (Amecafe, 2017), sin embargo las tecnologías aplicadas para su producción siguen una dinámica diferente a las requeridas para asegurar una oferta y calidad del nivel requerido por los mercados mundiales.

Un sistema de producción que no ha sido difundido en México es el de doble eje (Teixeira *et al.*, 2016), el cual consiste en sembrar dos plantas de café en el mismo lugar lo cual se traduce en una mayor productividad o en caso de que muera una de las plantas la otra seguirá produciendo y sin dejar el espacio sin aprovechar.

Debido a problemas fitosanitarios tal como la roya del café y los nematodos presentes en el suelo, hacen necesario tomar medidas como el uso de variedades resistentes e injertos. Los sustratos surgen como un medio de crecimiento alternativo para las plantas cuando el suelo no cumple con las condiciones deseadas, el objetivo es minimizar el riesgo sanitario y controlar las características físicas, química y biológicas usando materiales regionales de origen orgánico (compostas, aserrín, hojarasca, corteza, bagazo entre otras) o inorgánico (tezontle, perlita, espumas fenólicas, pumíticos, etc). El precio y la disponibilidad de los materiales son las limitantes para la

realización de las mezclas para sustratos, por ello se deben generar recomendaciones para cada región sin dejar de pensar en la inversión económica (Aguilera *et al.*, 2016). Otra ventaja de los sustratos es que se facilita el transporte de las plantas producidas en vivero por el menor peso de los contenedores.

Comúnmente para la nutrición de las plantas de café en vivero se hace uso de los fertilizantes convencionales sin embargo debido a la entrega de los nutrientes de manera inmediata al momento de solubilizarse con el agua se presenta lixiviación del aportado por lo que no son aprovechados en su totalidad. Los fertilizantes de liberación controlada debido a su recubrimiento con materiales semipermeables realizan la entrega de los nutrientes lentamente en periodos largos logrando que estos coincidan con las necesidades de la planta, aunado a la ventaja que se aplican una sola vez durante todo el ciclo lo que reduce el costo de producción (Rose *et al.*, 2004).

En las aplicaciones de fertilización se busca que las plantas se nutran adecuadamente y se obtenga el mayor desarrollo y producción al menor costo. El uso de los fertilizantes de liberación controlada aunado a los sustratos tienen varias ventajas desde el punto de vista ecológico y fitosanitario, su uso en plantas de café es incipiente pero prometedor, la inversión inicial es mayor sin embargo la cantidad de mano de obra e infraestructura (como sistemas de fertiriego) que se logra ahorrar es considerable lo cual lo hace una opción a recomendar para los viveros de pequeños y medianos productores de plantas de café (Ortiz, 2017; Uc, 2017) con la finalidad de abastecer la demanda.

Para el re-establecimiento de nuevas plantaciones de café, se debe procurar generar condiciones ideales para el desarrollo de nuevas plantas en el vivero, “la calidad” de las plántulas se logra desde la selección de la semilla pasando por las adecuadas condiciones del semillero para lograr plantas vigorosas y que faciliten ser transportadas conservando un cepellón que proteja las raíces sin exponerlas. Es característico de la mayoría de los contenedores tener un reducido volumen y consecuentemente el espacio que las raíces disponen para crecer, por esta razón se presentan deformaciones que afecta el desarrollo y la adaptabilidad de las plantas en campo (Landis *et al.*, 1990).

La poda de raíces desde la etapa de contenedor surge en la producción de especies forestales (Saul, 1968; Landis *et al.*, 1990) con el objetivo de evitar el enrollamiento de las raíces. Son numerosos los casos en los que la poda química de raíces fomenta el crecimiento y la supervivencia de las plantas (Barajas *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2015), aunque no siempre surten los mismo efectos en todas las plantas en la mayoría son favorables.

Las tecnologías ya sean aplicadas en conjunto o de manera individual ayudan en la obtención de plantas de mejor condición general y con niveles de inversión optimizados, a la par que se genera menos impacto ambiental por la reutilización de materiales que se consideraban desecho, una menor alteración de los nutrientes en los ciclos que acarrearán desequilibrios al evitar su lixiviación y menos basura por no usar

bolsas de plástico, se debe buscar el punto de equilibrio entre la adopción de tecnologías y el beneficio económico.

El corredor Córdoba-Huatusco es una de las zonas de mayor importancia en el país por ser una de mayor tradición en el cultivo del café, las condiciones montañosas son propicias para variedades de alta calidad en grano y de mayor especialidad. La cantidad de personas que dependen económicamente del café es considerable y por ende atender los problemas de la producción es ayudar a un sector importante de la población, el ensayo se llevó a cabo en un vivero ubicado en el municipio de Ixhuatlán del café en el estado de Veracruz a una elevación de 1180 msnm.

LITERATURA CITADA

- Aguilera R. M., A. Aldrete y T. Martínez T. (2016) Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34);7–19.
- Amecafe (2017) Análisis del Mercado de Consumo de Café en México 2016. [https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor Informe Análisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf](https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_Análisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf) (Mayo-2018).
- Barajas R. J. E., A. Aldrete, J. Vargas H. and J. Lopez U. (2004) La poda química incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5);545–553.
- Landis, D. T., Tinus, R. W., McDonald, S. E., Barnett, J. P., & Nisley, R. G. (1990) Containers and Growing Media, Vol 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC.: Us. Departament of Agriculture Forest Service.
- Ortiz, V. T. (2017) Estrategias para la producción de plántulas de café. Tesis de Maestría, Texcoco, México, Colegio de Postgraduados.
- Rodriguez Z. F., M. Gutierrez, J. G. Lugo y L. Lízbeth (2015) Respuesta de las plantas de berenjena a la poda química de raíces. *Bioagro* 27(3);189–194.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano, E. (2004) Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(252); 89–100. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002004000200009>
- Saul, G. H. (1968) Copper safely controls roots of tubed seedlings. *Tree Planters* 19(1);7–9.
- Teixeira W. F. C., D. Ramos G., A. L. Carvalho C., A. D. William, V. Faquin, R. Machado L. y R. M. Rezende C. (2016) Eficiencia agronomica do superfosfato triplo

revestido por polimeros no crescimento inicial do cafeeiro. *Coffee Science Lavras* 1(3);427–435.

Uc, A. S. (2017). Nutrición orgánica y mineral de plantas de café (*Coffea sp.*). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México.

REVISIÓN DE LITERATURA

EL CULTIVO DE CAFÉ

El consumo de café es mundialmente extendido y solamente en México la superficie sembrada en 2016 fue de 645,638 hectáreas (FAO, 2017). Siendo uno de los cultivos con menor impacto ecológico por una menor alteración de los ecosistemas a comparación de otros en las zonas boscosas del país (Toledo y Moguel, 1996).

Las predicciones en las tendencias de su consumo en sus diferentes presentaciones del café indican un incremento hasta el año 2021 del 2.4% anual (Amecafe, 2017), lo cual genera una gran cantidad de nichos de mercado a los cuales abastecer y generar nuevos productos en sus diferentes niveles de especialización.

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA Y VIVEROS

Debido a los problemas de plagas, enfermedades y desastres naturales se hace necesario recuperar fincas de café con plantas capaces de soportar las nuevas condiciones. En este contexto, los viveros tienen como objetivo proveer plantas con el menor costo posible procurando la calidad de las mismas, sin embargo la definición de una planta de calidad sigue en discusión (Birchler *et al.*, 1998).

Para las especies forestales está más documentado y estudiado, aunque algunos se pueden aplicar para el café, ejemplo de ello es la raíz, cuanto mayor sea la raíz mayor será la cantidad de agua y nutrientes obtenidos (Marana *et al.*, 2008). Algunos de los factores para lograr la calidad de las plantas son: siembra, densidad, manejo del suelo, sombreado, riego, raíces sin deformaciones y transporte (Birchler *et al.*, 1998).

Durante la fase de vivero algunos de los problemas generados en las raíces se deben por el tamaño inadecuado de las bolsas, la poda excesiva de la raíz pivotante en el momento del trasplante, la deficiencia de materia orgánica en el sustrato utilizado para llenar las bolsa, el doblamiento de la raíz en la siembra, el ataque de nematodos y el inadecuado manejo (Gaitan *et al.*, 2011).

La producción en bolsas tiene la desventaja de contaminar ya que se usa una sola vez y en ocasiones se deja la bolsa en la parcela generando residuos, sin embargo de acuerdo con Arizaleta y Pire (2008) el tamaño de la bolsa si es significativo para el desarrollo de las variables tales como peso y volumen radical.

La finalidad de los contenedores es mejorar las condiciones para el desarrollo de las plantas y facilitar su transporte para su establecimiento y posterior desarrollo (Gil y Díaz, 2016). El trasplante se recomienda cuando las plántulas tienen de 6 a 8 pares de hojas y es conveniente lograr que coincida con la temporada de lluvias (Alejo y Reyes, 2014). De acuerdo a Carvalho *et al.* (2007) las plantas de café que estuvieron por más tiempo en los tubetes después de una poda apical presentaron mejores resultados que

aquellas plantas sembradas en bolsas. También el uso de tubetes de 180 mL con un óptimo espaciamiento en el vivero mejora el desempeño de las plantas de café (Vallone *et al.*, 2011).

La gran mayoría de viveros siembran solamente una planta por bolsa o contenedor, sin embargo la siembra de dos plantas de café conocida como de “doble eje” tiene la finalidad de incrementar la productividad de las fincas cafetaleras aumentando la densidad de plantas (Teixeira *et al.*, 2016).

En un trabajo realizado por Gil y Díaz (2016) donde evaluaron las características de los sistemas radicales de plantas de café en 4 tamaños de contenedores y 2 de bolsas, hallaron que los tubetes de mayor volumen presentaron mejores valores con la ventaja de no generar residuos como las bolsas plásticas.

Costa *et al.* (2015) obtuvieron plantas de 7 a 9 pares de ramificaciones con una edad de aproximadamente ocho meses cuyos diámetros de tallo variaron de 2 a 3.5 mm. En relación a la materia seca de la raíces los valores fueron de 1.5 a 2.5 g, dichos valores son similares a los obtenidos por Da silva (2010) en plantas de 7 meses de edad donde obtuvieron plantas con una materia seca aérea de 2.5 a 3.3 g por planta y en el peso seco de las raíces variaron de 1.4 a 1.6 g por planta, los diámetros de tallo fueron de 1.86 a 4.34 mm y para la altura de planta los valores máximos fueron de 18.86 cm.

Para obtener plantas de calidad se deben de tener en cuenta muchos factores en el manejo del vivero, desde la germinación, control de plagas y enfermedades, pasando

por el riego y nutrición, lo importante es tener plantas con características uniformes al momento de producirlas, en algunos casos hay valores recomendados por especies, tanto en aquellas especies que existan recomendaciones o no se debe realizar un estudio en campo para su seguimiento y una mejor adaptación de las plantas en el campo (Birchler *et al.*, 1998).

LOS SUSTRATOS

El sustrato es un medio alternativo para el crecimiento satisfactorio de las plantas, su uso nos permite controlar propiedades mediante mezclas de diferentes compuestos (Ansorena, 1994; Bures, 1997).

La turba de musgo se considera el principal insumo para los medios de crecimiento, sus óptimas propiedades la hacen deseada sin embargo tiene un costo elevado debido a que es importado y en los últimos años por el impacto ambiental que genera se reduce su extracción (Aguilera *et al.*, 2016).

La utilización de residuos derivados de las industrias forestales como el aserrín y la corteza de pino pueden servir como componente de las mezclas de sustratos en la producción de plantas (Esquivel, 2011; Avila 2015; Aguilera *et al.*, 2016; Ortiz, 2017).

Tavares (2004) encontró como el tamaño del contenedor y la granulometría afectaban el desarrollo de las plantas de café, entre mayor sea el volumen donde estas crezcan mejor será el desempeño en campo, así mismo incrementar la estabilidad al disminuir la

granulometría es determinante. Los sustratos orgánicos fueron mejores que hacer uso del suelo para la producción de café (Alves *et al.*, 2016).

En un trabajo realizado por Alejo y Reyes (2014) se evaluaron cuatro sustratos y cuatro tamaños de recipientes para la producción de café, resultando los mejores el bocashi al 40% y las bolsas de polietileno de 12.5 x 20 cm, en base a las variables morfológicas y peso seco. La mezcla de tezontle, aserrín y lombricomposta (1:2:1 de v/v) en tubetes de un litro fue óptima para la producción de *Cedreia odorata* (Ávila, 2015) caso similar para la obtención de plantas de café en donde de aserrín y tezontle (3:1) fue apta (Uc, 2017).

Algunos sustratos no son apropiados para la producción de plántulas de café. Días y Melo (2009) encontraron que el estiércol de pavo a más del 40% del volumen en el sustrato y 60% de estiércol vacuno es perjudicial cuando se utilizaron tubetes de 120 mL.

El intervalo de pH en el que crece el café es de 4 a 6.5 siendo poca la diferencia en la absorción de nutrimentos, en incluso de 4.2 a 5.1 sin embargo se recomienda mantener el medio de crecimiento cercano a 6 (Carvajal y López, 1963).

FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA

La forma tradicional de fertilizar las plantas es mediante el uso de fertilizantes hidrosolubles, los cuales son de menor costo sin embargo la lixiviación es mayor (Rose *et al.*, 2004). Una opción para mejorar la eficiencia de los nutrientes son los fertilizantes de liberación controlada (FLC) los cuales realizan la entrega de los nutrientes de manera gradual (Salgado y Escobar 2010).

La principal ventaja de los FLC es la baja pérdida de nutrientes, de acuerdo a (Alva, 1992) la reducción de la lixiviación es hasta del 80%. Los patrones de liberación de los FLC son influidos por la temperatura del suelo, humedad, pH y actividad microbiológica, se pueden evaluar en campo o en condiciones de laboratorio. Por lo general los periodos de liberación mencionados por los fabricantes son bajo condiciones ideales a 21 °C (Medina *et al.*, 2014).

Frota *et al.* (2011) demuestran que la eficiencia del fertilizante de lenta liberación en campo es mayor que los convencionales en cuanto al uso del nitrógeno. De acuerdo a (Ávila, 2015), se obtuvieron plantas de cedro con características deseables utilizando dosis de FLC entre 5 y 7 g/L.

En un trabajo realizado por Melo *et al.* (2001) en plantas de café encontraron las mejores dosis por tubete del fertilizante de liberación controlada con la fórmula 15-10-10 entre 7 y 12 g/L en plantas en tubetes de 120 mL.

Usando un sustrato comercializado como Plantmax café® en tubetes de 120 mL obtuvieron plantas con características deseables usando dosis Osmocote ® entre 7.7 a 9.1 g/L aunque se recomienda complementar con fertiriego las primeras semanas (Barbizan *et al.*, 2002).

De acuerdo a López (2004) en la producción de plantas de café en vivero se obtuvieron mejores resultados con 6.58 g/L de fertilizantes de lenta liberación cuyo contenido de fertilizante era 13-13-13 y 16-25-12 superando al fertilizante del mismo tipo con la concentración 24-4-8 y al fertilizante foliar en plantas de 6 meses.

Marana *et al.* (2008) trabajaron con plantas de café de la variedad Cataui a los cinco meses de establecidas en el vivero donde obtuvieron los mejores resultados usando 10 kg/m³ del fertilizante de lenta liberación marca Osmocote® en tubetes de 210 mL y con un sustrato comercial.

En un ensayo llevado a cabo por Teixeira *et al* (2016) utilizaron dos tipos de fertilizantes fosfatados, el convencional y el de lenta liberación, al final del experimento encontraron mejores resultados en las plantas de café que utilizaron los recubiertos

MORFOLOGÍA DE RAÍCES

Las raíces constituyen uno de los principales órganos en las plantas vasculares cuyas funciones principales son de anclaje, absorber agua e iones del suelo así como guardar los productos de la fotosíntesis en modo de reserva (Kerk y Haven, 2001). Cuando se modifica la distribución natural de la raíz y por ende la cantidad de raíces secundarias y pelos radicales se altera el anclaje, absorción de agua y nutrientes siendo menos eficientes que en su estado natural, el termino de arquitectura de raíces se refiere al arreglo tridimensional de las raíces el cual afecta la adquisición de agua y nutrientes y la estabilidad de los árboles en el suelo (Lynch, 1995).

La generación de las raíces finas es ventajosa para incrementar el agua y los nutrientes absorbidos y son necesarias para establecer y generar las simbiosis de micorrizas (Day *et al.*, 2010). De acuerdo a Marana *et al.* (2008) utilizan parámetros de calidad por ejemplo el índice Dickson y relaciones parte aérea/raíz, sin embargo falta generar índices para plantas de café y para casos de 1 o 2 plantas por contenedor.

LA PODA QUÍMICA Y EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR (PCR)

La producción de plántulas de café en tubetes surge como una innovación para mejorar la producción aumentando la calidad y disminuyendo los costos en los viveros. Debido al poco espacio en los contenedores las raíces presentan patrones de crecimiento de formar circular conforme a las paredes de los tubetes, sin embargo dicha deformación

comienza a restringir el flujo de agua y nutrientes absorbidos a través del xilema dichos problemas de raíz generan una reducción de la elongación de los brotes y el color anormal de las hojas durante el crecimiento temporada (Landis *et al.*, 1990).

Una opción es la poda química de raíces la cual se ha venido utilizando desde los años sesenta (Saul, 1968) donde las sales como el carbonato de cobre (CuCO_3) y el hidróxido de cobre $\text{Cu}(\text{OH})_2$, son las más comunes (Schuch y Pittenger, 1996; Pomper *et al.*, 2002). El cobre inhibe el crecimiento de la raíz e incrementa las raíces secundarias, evita la deformación y la generación de nuevas raíces después del trasplante (Arnold y Struve, 1993).

La medición del potencial de crecimiento radicular (PCR) es un indicador de la capacidad de producir nuevas raíces y el vigor de las plantas una vez que fueron trasplantadas (Ritchie y Dunlap, 1980).

En un trabajo en donde se utilizaron plantas de *Pinus helepensis* se les aplicó la poda química con hidróxido de cobre y carbonato de cobre lo que produjo un incremento del diámetro, altura y la biomasa dos años después de trasplantadas en campo (Tsakalimi y Ganatsas, 2006). Una solución práctica para la reutilización de contenedores debido a que estos eran de un material frágil y la penetración de las raíces dañaban las paredes, fue la que propusieron Dong y Burdett (1986) utilizando contenedores de papel "kraft" para la producción de *Pinus tabulaeformis* evitando el enrollamiento de las raíces y su daño en el papel usando la poda química de raíces.

En *Pinus gregii* de 10 meses de edad se hizo la comparación entre los tratamientos que utilizaban la poda química de raíces y aquellos que no, después de tres años se midió su desempeño en campo y aquellas que tuvieron tratadas con la sal de cobre presentaron mejor desempeño en contra parte de aquellas que solamente se produjeron en bolsas sin tapete de cobre (Barajas *et al.*, 2004).

LITERATURA CITADA

Aguilera R. M., A. Aldrete y T. Martínez T. (2016) Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34);7–19.

Alejo P. A. J., y C. L. Reyes R. (2014) Evaluación de sustratos y tipos de recipiente en el crecimiento de plántulas de café Arábigo, en condiciones de vivero. Tesis de licenciatura, La Loja, Ecuador. Universidad nacional de Loja.

Alva A. K. (1992) Differential leaching of nutrients from soluble vs. controlled-release fertilizers. *Environmental Management* 16(6);769–776.
<https://doi.org/10.1007/BF02645667>

Alves E. R., R. Schmidt, R. Moreira, J. Rafael, M. Dias Y E. Maia (2016) Biometria e trocas gasosas em mudas de cafeeiros submetidas a diferentes substratos. *Coffee Science* 11(4); 435–443.

Amecafe (2017) Análisis del Mercado de Consumo de Café en México 2016. [https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor Informe Análisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf](https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_Análisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf) (Mayo-2018).

- Ansorena M. J. (1994) Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundiprensa. España 190 p.
- Arizaleta M., y R. Pire (2008) Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42(1);47–55.
- Arnold M. A., and D. K. Struve (1993) Root distribution and mineral uptake of coarse-rooted trees grown in cupric hydroxide-treated containers. *HortScience* 28(10); 988–992.
- Ávila A. R. (2015) Producción de planta forestal con sustrato alternativo y fertilizantes de liberación controlada. Tesis de maestría. Texcoco, México. Colegio de Postgraduados.
- Barajas R. J. E., A. Aldrete, J. Vargas H. y J. López U. (2004) La poda química incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5);545–553.
- Barbizan E. L., R. M. Quintão L., F. Campos M., B. De Melo, C. Machado D. S. e F. Mendes (2002) Producao de mudas de cafeeiro em tubetes associada a diferentes formas de aplicacao de fertilizantes. *Ciencia E Agrotecnologia*, Ed. Special;1471–1480.
- Birchler T., R. W. Rose and M. Pardos (1998) La planta ideal: Revisión del concepto, parametros definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr.:Sist. Recur. For.* 7(1 y 2); 109–121.
- Bures S. (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. España.
- Carvajal J. F. y C. A. López (1963) Efecto del pH del sustrato en el crecimiento y la absorción del café. *Rev. Biol. Trop.* 11(2);141–155.

- Carvalho A. M., R. J. Guimarães, C. A. de Moura, A. N. Guimarães M. e G. Rodrigues C. (2007) Recuperação de mudas de cafeeiro em tubetes através de podas. *Coffee Science Lavras* 2(1);79–86.
- Costa T. L. N., C. D. Toledo, R. J. Guimaraes, T. R. Teruel, G. V. Belutti e R. N. Luftala (2015). Desenvolvimento de mudas de cafeeiro podadas em diferentes alturas 1. In IX simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (pp. 2–6). Curitiba. Brasil.
- Da silva C. J. (2010) Mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) desenvolvidas sob fontes de material organico no sunstrato comercial. Disertacao do Mestría, Minas Gerais. Brasil. Universidad Federal de Uberlandia.
- Day S. D., P. E. Wiseman, S. B. Dickinson and J. R. Harris (2010). Contemporary concepts of root system architecture of urban trees. *Arboricult. Urban For.* 36;149–159. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02648.x>.
- Dias R. e B. Melo (2009) Proporcao de material organico no substrato artificial para producao de mudas de cafeeiro em tubetes. *Cienc. Agrotec Lavras* 33(1); 144–152.
- Dong H. and A. N. Burdett (1986) Chemical root pruning of Chinese pine seedlings raised in cupric sulfide impregnated paper containers. *New Forests* 73; 67–73.
- Esquivel T. S. (2011) Características y usos de los principales sustratos utilizados en los cultivos sin suelo. Tesis de licenciatura, Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Frota M. P., M. C. Carvalho, M. S. Ruiz, M. T. Buzzo e J. F. Araújo L. (2011). Resultados parciais do produto ciclus NK , nitrogênio de liberação lenta, aplicados em lovoura em producao. In VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafes do Brasil. Araxá MG.
- Gaitan B. A., G. Villegas C, O. C. Rivillas, E. Hincapié e P. J. Arcila (2011)

Almácigos de café: Calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo (Avances Técnicos No. 404). Colombia.

Gil A. I., y J. Díaz L. (2016) Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L . cv . *Castillo*) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 10(1);125–136.

Gomes F. J. (2017). Recomendacao de nutrientes para producao de cafeeiro pelo metodo requerimento-suprimento. Disertacao do maestria. Minas Gerais. Brasil. Universidade Federal de Vicosa.

Kerk N. M., and N. Haven (2001) Roots and Root Systems. *Encyclopedia of Life Sciences*, John Wiley & sons p. 1–7.

Landis D. T., R. W. Tinus, S. E. McDonald, J. P. Barnett and R. G. Nisley, R. G. (1990). Containers and Growing Media, Vol 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC.: Us. Departament of Agriculture Forest Service.

López H. J. R. (2004) Efecto de fertilizantes de liberación controlada en el crecimiento de cafetos en el vivero. Tesis de maestria, Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico.

Lynch J. (1995) Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 109;7–13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.1.7>.

Marana J. P. , E. Miglioranza, E. De Padua F. e H. Kainuma R. (2008) Indices de qualidade e crescimento de mudas de cafe produzidas em tubetes. *Ciencia Rural* 38(1);39–45.

Medina C., J. Sartain, T. Obreza, W. Hall and N. Thiex (2014). Evaluation of a Soil Incubation Method to Characterize nitrogen release patterns of Slow and controlled-release Fertilizers. *Journal of AOAC International* 97(3);643–660. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-065>

- Melo B., A. N. Guimaraes M., e P. T. Gontijo G. (2001) Doses crescentes de fertilizante de liberação gradual na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Biosci J.* 17(1); 97–113.
- Ortiz V. T. (2017) Estratégias para la producción de plántulas de café. Tesis de Maestria Texcoco, México, Colegio de Postgraduados.
- Pomper K. W., D. R. Layne and S. C. Jones (2002). Incident Irradiance and Cupric Hydroxide Container Treatment Effects on Early Growth and Development of Container-grown Pawpaw Seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127(1); 13–19.
- Ritchie G. A., and J. R. Dunlap (1980). Root Growth Potential: Its development and expression in Forest Tree seedlings. *N. Z. Forest Science* 10(1); 218–248.
- Rose R., D. L. Haase y E. Arellano (2004) Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(252);89–100. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002004000200009>
- Salgado G. S. y R. Nuñez E (2010) Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. México. Mundi-Prensa. 155 p.
- Saul G. H. (1968) Copper safely controls roots of tubed seedlings. *Tree Planters* 19(1); 7–9.
- Schuch U. K. and D. R. Pittenger (1996) Root and Shoot Growth of Eucalyptus in Response to Container Configuration and Copper Carbonate. *HortScience* 31(1); 165
- Tavares J. E. J. (2004) Volume e granulometria do substrato na formação de mudas de café. Disertacao do maestria. Sao Paulo. Brasil. Universidade de Sao Paulo.
- Teixeira W. F. C., D. G. Ramos, A. L. C. Carvalho, A. D. William, V. Faquin, R. L. Machado and M. C. Rezende R. (2016) Eficiencia Agronomica Do Superfosfato

Triplo Revestido Por Polimeros No Crescimento Inicial Do Cafeeiro. *Coffee Science Lavras*, 1(3);427–435.

Toledo V. M., y Moguel, P. (1996). El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Ciencias Soc.*, 34;40–51.

Tsakaldimi, M. N. and P. P. Ganatsas (2006). Effect of chemical root pruning on stem growth , root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill. *Scientia Horticulturae* 109;183–189.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.007>

Uc A. S. (2017) Nutrición orgánica y mineral de plantas de café (*Coffea sp.*). Tesis de maestría. Texcoco, México. Colegio de postgraduados.

Vallone H. S., A. B. Torino and K. Maso (2011) Caracterização de mudas de cafeeiro em função da capacidade volumétrica e do espaçamento entre tubetes. In Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil.

CAPÍTULO I. EFECTO DE LA NUTRICIÓN Y PODA DE RAÍCES EN LAS PLANTAS DE CAFÉ EN VIVERO

1.1 RESUMEN

El café es una de las bebidas más conocidas a nivel mundial. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres dosis de nutrición y la poda química en el crecimiento de plantas de café producidas en vivero. El ensayo se realizó en el municipio de Ixhuatlán del café, Veracruz, en un vivero con malla sombra usando un sustrato de aserrín, tezontle y composta (3:1:2 v/v) en contenedores de 1 L. Se trasplantaron 2 plantas injertadas por contenedor. Se aplicó fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote® (18-6-12) + micro elementos, en tres dosis: 7, 9 y 11 g L⁻¹. En los tratamientos con la poda química de raíces se les aplicó un recubrimiento de Cu(OH)₂ al 7% dentro de las paredes del contenedor. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2 resultando 6 tratamientos y 5 repeticiones, cada una con 20 tubetes. Se midieron las propiedades del sustrato: porosidad, retención de humedad y liberación de agua, pH, conductividad eléctrica y relación C/N. después de ocho meses se evaluaron las variables morfológicas: altura, diámetro de tallo, peso seco de la planta y volumen de raíz. Se realizó un análisis foliar para evaluar N, P, K, Mg, Cu, Fe y Mn. No hubo diferencias entre las dosis de fertilizante de liberación controlada y las concentraciones nutrimentales en las hojas, sin embargo, resaltaron los tratamientos a los que se les aplicó poda química. Se presentaron concentraciones por debajo de niveles óptimos para algunos nutrimentos como potasio (de 1.96 a 1.07%), Mg (de 0.27 a 16%) y Cu (de 3.3 a 1.7 ppm), pero no se presentaron síntomas visuales de deficiencia en ningún tratamiento. La dosis de 11 g L⁻¹ con poda química de raíces fue estadísticamente ($p < 0.05$) superior en el peso seco de la parte aérea y el diámetro de tallo.

Palabras clave: *Coffea*, fertilizante de liberación controlada (FLC), poda química de raíces, potencial de crecimiento radicular, sustratos

1.2 INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más conocidas a nivel mundial y actualmente existe una demanda creciente para su consumo (Temis-Pérez *et al.*, 2011), por ello se ha buscado obtener plantas de calidad de cafeto en el vivero para su óptimo desarrollo en el campo, desde la resistencia a plagas y enfermedades así como buenos rendimientos y calidad de tasa (Birchler *et al.*, 1998). México tiene potencial para producir mayor cantidad de grano de café y de mejor calidad (Escamilla *et al.*, 2015).

Durante la etapa de vivero algunos insumos y prácticas culturales pueden contribuir a mejorar la calidad de las plantas. Los sustratos son una alternativa para evitar el traslado de plagas y enfermedades. Aguilera *et al.* (2016) afirman que el uso de aserrín y tezontle evitan la diseminación de plagas y sirven como medio de crecimiento de las plantas disminuyendo los costos de producción. Por otra parte, la nutrición de las plantas mediante fertilizantes de liberación controlada evita la lixiviación de los nutrientes y el uso de sistemas de fertiriego (Rose *et al.*, 2004; Escamilla *et al.*, 2015; Castro-Garibay *et al.*, 2018).

Cuando se prolonga el tiempo que las plantas permanecen en los contenedores las raíces se deforman afectando el anclaje de las plantas y absorción de nutrimentos ya trasplantadas en campo (Landis *et al.*, 1990). El recubrimiento de las paredes en los contenedores mediante el uso de las sales como el hidróxido de cobre ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) inhibe la división celular fomentando el crecimiento de raíces secundarias las cuales son más

activas en la absorción de agua y nutrientes, el uso de dicha tecnología es común en viveros forestales desde hace algunas décadas (Saul, 1968; Arnold 1996).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres dosis de nutrición y la poda química en el crecimiento de plantas de café producidas en vivero.

1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un vivero ubicado en el municipio de Ixhuatlán del café del estado de Veracruz, ubicado a los 19°03'05" latitud Norte y 96°58'16" longitud Oeste a una elevación de 1180 msnm, cubierto con una malla sombra del 70% y con sistema de riego por cintilla.

El trabajo de investigación se llevó a cabo durante 275 días (del 17 de septiembre del 2016 al 25 de mayo de 2017) en donde se utilizaron plantas injertadas provenientes de un semillero con arena, utilizando como patrón *Coffea cannefora var robusta* y como yema *Coffea arabica var Costa Rica*, las cuales fueron trasplantadas cuando aún conservaban los cotiledones (etapa de soldadito) antes de la emergencia de las primeras hojas verdaderas.

El sustrato utilizado consistió en una mezcla de los siguiente materiales: 3 partes de aserrín de pino y 1 de tezontle (v/v) con diámetros entre 0 y 2 cm y 2 v/v de composta procesada con: 25 % cachaza, 25 % estiércol vacuno y 50 % pulpa de café. Los

contenedores fueron tubetes plástico de un litro de capacidad, en donde se trasplantaron 2 plantas por contenedor. Las características del sustrato fueron: pH 4.75; Relación C/N: 18 conductividad eléctrica 3.44 dS m⁻¹; porosidad total 53 %; porosidad aireación 15 %; retención de agua 38 %; diámetro medio ponderado 2.94 mm; índice de grosor 44 % y densidad aparente 0.35 g cm⁻³.

Nutrición. El primer factor a estudiar fueron 3 dosis (7, 9 y 11 g L⁻¹) de fertilizante liberación controlada MULTICOTE ® con la fórmula 18- 6 - 12 + 2 MgO + micro nutrimentos (Haifa Chemicals Ltd.) con 2 periodos de liberación, 50 % de 4 meses y el 50 % restante correspondió a 8 meses.

Poda química de raíz. El segundo factor corresponde a la aplicación o no de poda química de raíz. Para el primer caso, se aplicó un recubrimiento en las paredes internas de los tubetes, con una sal de cobre (CuOH₂ al 7%) más pintura y adherente, y en el segundo caso sin dicho recubrimiento.

Las tres dosis de fertilizante de liberación controlada y los dos niveles de poda química generan un total de seis tratamientos (3 x 2) con cinco repeticiones cada uno, la unidad experimental consta de 20 tubetes y en cada tubete hay 2 plantas.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos generados para la producción de las plantas de café desarrolladas en sustratos en tubetes de un litro.

Tratamiento	Dosis de fertilizante de liberación controlada (FLC) g L⁻¹	Poda química de raíces
1	7	
2	9	Cu(OH) ₂ al 7%
3	11	
4	7	
5	9	Sin recubrimiento
6	11	

Se hicieron aplicaciones de fertilizante foliar HAIFA BONUS ® 13-02-44 y micros a una concentración del 2.5 % cada 15 días para complementar la nutrición a partir del segundo par de hojas verdaderas.

Después de ocho meses en el vivero las variables evaluadas fueron: altura de plantas, diámetro del cuello de tallo, peso seco parte aérea, peso seco de la raíz y volumen radicular. Posteriormente, las plantas se cortaron y dividieron en parte aérea y raíces. Se lavaron las raíces de ambas plantas eliminando cualquiera partícula de sustrato y para medir el volumen se aplicó el principio de Arquímedes (Cisneros, *et al.*, 2017). La parte aérea y las raíces se secaron a una temperatura de 70 °C hasta peso constante para obtener los pesos secos de biomasa aérea y radicular.

Concentración de nutrimentos en la parte aérea. Una vez obtenido el peso seco de la parte aérea se procedió a moler las plantas en una malla 40 y determinar la concentración de elementos en el follaje. El Nitrógeno se determinó por el método semimicro-Kjeldahl. La concentración de P, K, Mg, Fe, Cu y Mn se determinó mediante digestión húmeda del material, con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico. La lectura de los extractos se determinó en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma (ICP) modelo 725-ES (VARIAN).

Control de calidad en las mediciones analíticas. Como parte del control de calidad de los análisis realizados se incluyeron paralelamente en los análisis materiales de referencia: cuatro materiales de control de calidad de los Programas de Intercomparación de México (ISP-5, ISP-6, ISP-9 y ISP-200) y un material de control de calidad del Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental.

Determinación de las características del sustrato. En el caso del sustrato las variables físicas medidas fueron: porosidad total, porosidad de aire y porosidad de retención de agua granulometría, curvas de retención y liberación de agua. Las propiedades químicas fueron: pH mediante el potenciómetro con la relación agua:sustrato 3:1 (v/v) y la conductividad eléctrica mediante el conductímetro usando la relación agua: sustrato 3:1 (v/v). La materia orgánica se determinó por incineración en los sustratos (450 °C durante 1 hora), dichas determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Física de suelos del Colegio de Postgraduados.

Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$), considerando los factores de fertilización y recubrimiento en el paquete SAS® 2002.

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables morfológicas en las plantas de café

De acuerdo a los valores del ANOVA los efectos de la dosis de fertilización fueron significativos ($p < 0.05$) para las variables de altura, diámetro, peso seco de raíz y volumen radical donde la única variable no afectada fue peso seco de la parte aérea. En el caso de la poda química de raíces hubo una alta significancia ($p < 0.0001$) en las variables de altura, diámetro, peso seco raíz, peso seco de la parte aérea y volumen radicular y en la cuestión de las interacciones solo hubo significancia para la variable diámetro ($p = 0.0202$).

En el Cuadro 2 se puede observar una tendencia donde los valores mayores de todas las variables morfológicas corresponden a los tratamientos donde se aplicó poda química de raíces. Los tratamientos donde se aplicó poda química presentaron diferencias significativas en las variables de altura, diámetro, PSPA, volumen radicular (Vrad) y peso seco de raíz (PSR), caso similar se presentó en trabajos de Tsakaldimi y Ganatsas (2006) para *Pinus*. Los valores más bajos se presentaron en el tratamiento 4 con la menor dosis de fertilizante y sin poda química.

En el caso del efecto de la fertilización, solamente la dosis alta fue superior para las variables de diámetro y peso seco de la parte aérea, por lo que podemos deducir que al escoger una dosis intermedia o alta de FLC se logran obtener plantas de un porte apto para ser llevadas al campo. Lo anterior coincide con Marana *et al.* (2008) quienes obtuvieron plantas de café con dosis cercanas a 10 kg m^{-3} de FLC dentro del intervalo que se utilizaron en el presente trabajo.

Cuadro 2. Valores promedio de las características morfológicas en plantas de café producidas durante 8 meses en un vivero con tubetes de un litro con sustrato compuesto de aserrín, tezontle y composta.

Trat.	Dosis de FLC	Poda química de raíces	Altura	Diámetro	PSPA	VRad	PSR
	g L ⁻¹		cm	mm	g	mL	g
1	7		26.91ab	2.71b	2.88b	4.20abc	0.70a
2	9	Cu(OH) ₂ al 7%	26.78b	2.8b	2.82b	4.69ab	0.62ab
3	11		28.11a	3.19a	3.37a	4.78a	0.68a
4	7		23.79c	2.59bc	2.40c	3.68c	0.50b
5	9	Sin poda	24.25c	2.34c	2.43c	4.01bc	0.52b
6	11		24.86c	2.59bc	2.62cb	3.98bc	0.53b

Letras iguales en la misma columna no hay diferencia 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.

En la altura de plantas los valores encontrados fueron de 23.79 a 28.11 cm, de los tratamientos 1 y 3, respectivamente. El grupo de medias con las alturas menores fueron los correspondientes a los tratamientos 4, 5 y 6, que carecían de poda química, la dosis no fue significativa caso similar a Arizaleta y Pire (2008), en donde la dosis mayor de fertilizante no fue diferente a la menor en cuanto al efecto sobre la altura, caso contrario en donde la poda química de raíces si hay una clara tendencia a comparación de los que carecían de misma.

Para el diámetro se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sobresaliendo el tratamiento 3, quedando en último el tratamiento 5 con la dosis 9 g L⁻¹ de fertilizante y sin poda química. Un mayor diámetro ayuda a la estabilidad de las plantas cuando estas se trasplantan en campo (Marana *et al.* 2008) y por ende una mayor probabilidad de mejorar la productividad en campo (Birchler *et al.*, 1998).

La cantidad de materia seca varió de 9.55 a 7.36 g encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos cuyo valor más alto correspondió al tratamiento 3 en donde la dosis alta de FLC (11 g L⁻¹). La poda química mejoró el crecimiento de las plantas durante los 8 meses que pasaron en el vivero, dichas tendencias son parecidas a trabajos realizados por Escamilla *et al.* (2015) en árboles de teca para el caso de FLC.

El volumen radicular fue mayor en los tratamientos que presentaron poda química al encontrarse diferencias significativas ($p < 0.05$), dicho comportamiento se explica por la

aplicación de la sal de cobre lo que genera un crecimiento más ordenado y uniforme llegando a estimular el surgimiento de más raíces, caso similar resultó en el trabajo de Barajas *et al.* (2004) en un ensayo realizado con *Pinus greggii*, en bolsas impregnadas de cobre que tuvieron un mayor peso seco de la raíz en comparación de las que no tuvieron la sal de cobre.

Contenido nutrimental en la parte aérea

De acuerdo con Jones *et al.* (1991) los nutrimentos cuya concentración estuvieron por debajo de los niveles recomendados fueron K, Mg y Cu (Cuadro 3); sin embargo, no se presentaron síntomas visibles de deficiencias, probablemente por la presencia de hambre oculta (Alcántar *et al.*, 2009). La dosis de FLC no fue determinante en la concentración nutrimental, sin embargo, en los tres tratamientos que se les aplicó el recubrimiento de cobre la concentración nutrimental fue mayor que en los demás donde no hubo la poda química, dicho comportamiento se puede explicar por la mayor cantidad de raíces producidas, es decir, un sistema radical con mayor actividad de absorción.

Cuadro 3. Respuesta en base al contenido nutrimental en la parte aérea de las plantas de café producidas en tubetes durante 8 meses en vivero.

Trat.	Dosis de FLC (g L ⁻¹)	Poda química de raíces	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Mn
			%				mg Kg ⁻¹		
1	7	Cu(OH) ₂ al 7%	2.84a	0.35a	1.96a	0.27a	146.3ab	3.3a	81.0b
2	9		2.93ab	0.30b	1.81a	0.24b	149.3ab	4.0a	102.3a
3	11		2.84ab	0.29b	1.60b	0.22b	155.0a	4.3a	117.7a
4	7	Sin poda	3.02ab	0.24c	1.15c	0.17c	121.7bc	2.0b	69.7b
5	9		3.06a	0.22d	1.08c	0.17c	102.0c	2.0b	72.0b
6	11		3.06a	0.22d	1.07c	0.16c	129.3bc	1.7b	72.0b

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa (Tukey<0.05).

Entre tratamientos la cantidad de N fue afectada por la dosis de fertilizante de liberación controlada, siendo mayor en aquellos que presentaban dosis mayores y en donde no había poda química de raíces, una posible explicación es por el efecto del cobre en la paredes de los tubetes por inhibir la presencia de microorganismos fijadores de N.

Para el caso de fósforo, en ningún tratamiento se presentó la deficiencia nutrimental y la carencia del mismo de acuerdo a los valores recomendados (Jones *et al.*, 1991), el tratamiento que presentó diferencia significativa fue el tratamiento 1 con la dosis de fertilizante 7 g L⁻¹.

El nivel potasio en todos los tratamientos se clasificó por debajo del óptimo (Jones *et al.*, 1991) se atribuye a dos cuestiones, la primera se clasifica como “hambre oculta” en donde hay una deficiencia nutrimental pero sin expresar sintomatología (Alcántar *et al.*, 2009) o los rangos que hay en la literatura deben ajustarse para el caso de plantas jóvenes de vivero en donde se presenta un “efecto de dilución”, entre mayor sea la cantidad de materia seca menor será la concentración del nutriente (Malavolta *et. al.*, 2002).

En el caso de magnesio a pesar de la clasificación como deficiente tampoco se presentaron sintomatologías visuales, siendo mayor ($p < 0.05$) en el tratamiento 3 y menor en aquellos que no tenían la poda química en donde una cantidad mayor de raíces incrementó la cantidad de Mg absorbido por las plantas.

Para el hierro el valor menor se presentó en el tratamiento 5 siendo su contenido prácticamente igual en los tres primeros tratamientos en donde había poda química.

La clasificación del nutriente del hierro entra como óptimo al no haber deficiencias visibles o en los rangos encontrados para las plantas del presente estudio.

Los contenidos de Mn en los tratamientos 2 y 3 resultaron con diferencias significativas entre los demás tratamientos. No se clasificó deficiente por debajo del óptimo de acuerdo a Jones *et al.* (1991) ni se detectaron deficiencias nutrimentales al momento de las evaluaciones morfológicas

1.5 CONCLUSIONES

La combinación de la dosis de fertilización 11 g L⁻¹ y la poda química favorecen el desarrollo de las plantas en cuanto al diámetro del tallo, el peso seco de la parte aérea y la raíz así como el volumen radicular. No hubo relación entre la cantidad de fertilizante aplicada y la concentración nutrimental

1.6 LITERATURA CITADA

- Aguilera R. M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordaz C. (2016) Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34);7–19.
- Alcántar G. G. y L. I. Trejo-Téllez (2009) Nutrición de cultivos. Mundiprensa. México. 451 p.
- Arizaleta M. y R. Pire (2008) Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42(1);47–55.
- Arnold M. A. (1996) Mechanical correction and chemical avoidance of circling roots differentially affect post-plant root regeneration and field establishment of container grown shumard oak. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(2);258–263.
- Barajas R. J. E., A. Aldrete, J. Vargas H. y J. Lopez U. (2004) La poda química incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5); 545–553.
- Birchler T., R. W. Rose, y M. Pardos (1998) La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Invest. Agr.:Sist. Recur. For.* 7(1 y 2); 109–121.
- Castro-Garibay S. L., A. Aldrete, J. López-Upton y V. M. Ordaz C. (2018) Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var *australis* en vivero. *Agrociencia* 52(1); 115–127.
- Cisneros R. C. A., Sanchez, D. P. M., y Menjivar, F. J. C. (2017) Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café. *Agron. Mesoam.* 28(1); 149–158.
- Escamilla-Hernández N., J. J. Obrador-Olán, E. Carrillo-Ávila y D. J. Palma-López (2015) Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38(3);329–333.
- Jones J. B., B. Wolf and H. A. Mills (1991) Plant Analysis Handbook a practical, sampling, preparation analysis and interpretation guide. United States of America: Micro-Macro Publishing. Inc. 191 p.
- Landis D. T., R. W. Tinus, S. E. McDonald, J. P. Barnett and R. G. Nisley (1990) Containers and Growing Media, Vol 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC.: Us. Department of Agriculture Forest Service.

- Malavolta E., J. L. Favarin, M. Malavolta y C. P. Cabral (2002) Reparticao de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. *Pesq. Agropec Bras.* 1;1017–1022.
- Marana J. P. , E. Miglioranza, E. De Padua F. y R. Hiroshi K. (2008) Indices de qualidade e crescimento de mudas de cafe produzidas em tubetes. *Ciencia Rural* 38(1);39–45.
- Rose, R., D. L. Haase y E. Arellano (2004) Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(252);89–100. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002004000200009>
- Saul, G. H. (1968). Copper safely controls roots of tubed seedlings. *Tree Planters Notes* 19(1);7–9.
- Temis-Pérez A. L., A. López-Malo y M. E. Sosa-Morales (2011) Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 5(2);54–74.
- Tsakaldimi, M. N., and P. P. Ganatsas (2006) Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine (*Pinus halepensis* Mill). *Scientia Horticulturae* 109;183–189. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.007>

CAPITULO II. POTENCIAL DE CRECIMIENTO RADICULAR EN PLANTAS DE CAFÉ TRATADAS CON HIDROXIDO DE COBRE

2.1 RESÚMEN

Antes de trasplantar las plantas en campo se recomienda realizar pruebas en donde se pueda determinar bajo qué condiciones se generan más raíces. El trabajo se realizó en el municipio de Ixhuatlán del café, Veracruz, en un vivero usando un sustrato de aserrín, tezontle y composta (3:1:2 v/v) en contenedores de 1 L. Se trasplantaron 2 plantas injertadas por contenedor. Se aplicó fertilizante de liberación controlada (FLC) Multicote® (18-6-12) + micro elementos, en tres dosis: 7, 9 y 11 g L⁻¹. En los tratamientos con la poda química de raíces se les aplicó un recubrimiento de Cu(OH)₂ al 7% dentro de las paredes del contenedor . El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2 resultando 6 tratamientos y 5 repeticiones, cada repetición constaba de 20 tubetes. El trasplante de las plantas a bolsas de plástico para la prueba de potencial de crecimiento radicular se realizó a los 8 meses de estar en un vivero. Esta prueba se desarrolló durante un mes. La dosis de FLC no tuvo efectos significativos en ninguna de las 2 variables, para la poda química si hubo diferencias significativas en el peso seco de raíz y el volumen radical.

Palabras clave: Coffea, contenedor, fertilizantes de liberación controlada (FLC), poda química de raíces, potencial de crecimiento radicular

2.2 INTRODUCCIÓN

La demanda de café se incrementa (Amecafe, 2017) así como la cantidad de plantas a establecer en campo, por ello se deben aplicar tecnologías para incrementar la cantidad y calidad de las plantas de café producidas en vivero. Mediante el uso de las tecnologías de los fertilizantes de liberación controlada (FLC) y contenedores con sustratos orgánicos, las plantas se desarrollan de manera óptima en presencia de materiales orgánicos altamente humificada (Romero-Figueroa *et al.*, 2017) teniendo un efecto positivo del humus sobre el desarrollo de las raíces el cual se debe a la presencia de compuestos promotores de crecimiento por la actividad microbiana (Marschner, 2012).

El órgano más complicado de estudiar es la raíz sin embargo su importancia no es menor a los demás (Dubrovsky y Shishkova, 2007). El termino de arquitectura radical se refiere al arreglo tridimensional de las raíces el cual afecta la adquisición de agua y nutrientes y la estabilidad de los árboles en el suelo (Lynch, 1995).

La producción de contenedores tiene muchas ventajas sobre la producción tradicional a raíz desnuda, incluyendo menos daño al sistema de raíces cuando se trasplanta, facilita el transporte, un mejor establecimiento después del trasplante, menores costos de mano de obra y mayor disponibilidad de producto y longevidad en el mercado a pequeña escala y mientras mayor sea su volumen del contenedor mejor será su desarrollo de las raíces beneficiando su desempeño en campo (Domínguez-Lerena *et al.*, 2006; Mathers *et al.*, 2007).

Independientemente del tamaño del contenedor se presenta deformación de las raíces dicho problema es reportado en varios trabajos (Gilman *et al.*, 2015; Rodriguez *et al.*, 2015; Allen *et al.*, 2017) llegando a comprometer el crecimiento del árbol.

Cuando las raíces de las plantas tienen contacto con un reactivo como el cobre sus efectos sobre la fisiología son muy variados, incluida la interferencia con el metabolismo de los ácidos grasos, proteínas, la inhibición de la respiración y los procesos de fijación de nitrógeno. A nivel de la planta cuando entera el Cu es un inhibidor eficaz del crecimiento vegetativo e induce síntomas generales de senescencia esto se debe a la inhibición del proceso de división celular en el ápice de la raíz al hacer contacto fomentando el crecimiento de raíces laterales (Fernandes y Henriques, 1991; Rossi *et al.*, 2008).

Se sabe de la eficiencia del cobre para reducir las malformaciones de la raíz por el crecimiento en espacios reducidos (Arnold y Struve, 1993; Liu *et al.*, 2016; Rodriguez *et al.*, 2015) y también mejorar la morfología de la raíz al evitar el espiralamiento e incrementar la fibrosidad (Lindstrom y Rune, 1999; Aldrete *et al.*, 2002; Dumroese *et al.*, 2015).

Al incrementar la fibrosidad del sistema radical se incrementa la cantidad de raíces finas que facilitan la absorción, exploración y anclaje para un mejor crecimiento en campo (South y Donald, 2002). Esto puede deberse a que las plántulas tratadas con cobre carecen de las raíces laterales más gruesas y desviadas hacia abajo en la interface contenedor-medio comúnmente observada con las plántulas no tratadas

con cobre; estas raíces se reemplazan con raíces laterales de segundo orden más cortos y finos (Dumroese *et al.*, 2013) . La generación de las raíces finas es ventajosa para incrementar el agua y los nutrientes absorbidos y son necesarias para establecer y generar la simbiosis de micorrizas (Day *et al.*, 2010).

La poda química ha sido utilizada en algunas especies vegetales tales como: *Pinus* (Aldrete *et al.*, 2005; Pacheco-Escalona *et al.*, 2007; Sword *et al.*, 2009; Aguilera *et al.*, 2016), Berenjena (Rodríguez *et al.*, 2015), *Anigozanthos flavidus* (Baker *et al.*, 1995), Carambola (*Averrhoa carambola* L.), *Dimocarpus Longan*, Mango (*Mangifera indica* L.) (Marler y Willis, 1996) y *Serianthes nelsonii* (Marler y Muser, 2016).

La prueba de potencial de crecimiento radicular (PCR) es complementaria para determinar la condición de “calidad” de la planta, antes de establecerse en campo (Sampson *et al.*, 1996). Fisiológicamente, el PCR parece estar estrechamente relacionado con la latencia del brote, la manipulación inadecuada y una siembra mal realizada pueden reducir la expresión del potencial al igual que factores como la baja temperatura del suelo, poca humedad en el suelo y la compactación del suelo en el sitio de plantación (Ritchie y Dunlap, 1980).

A pesar de los problemas asociados con la falta de exactitud y precisión y las expectativas a menudo poco realistas, las pruebas de PCR siguen siendo una herramienta valiosa para evaluar la calidad del material de plantación, el PCR no es un predictor perfecto del rendimiento en el campo ya que las condiciones de plantación varían en gran medida (Ritchie y Tanaka, 1990).

La finalidad del presente trabajo fue determinar el efecto de la poda química de raíces en planta de café en base al potencial de crecimiento radicular en plantas de café producidas en vivero.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un vivero ubicado en el municipio de Ixhuatlán del café perteneciente al estado de Veracruz con las siguientes coordenadas; 19°03'05" latitud Norte y una 96°58'16" longitud Oeste a una elevación de 1080 msnm con una malla sombra del 70% con sistema de riego por cintilla.

El trabajo de investigación se llevó a cabo del 17 de septiembre del 2016 al 25 de mayo de 2017 en donde se utilizaron plantas injertadas provenientes de un semillero de arena, utilizando como patrón *Coffea cannefora var robusta* y como yema *Coffea arabica var Costa Rica* las cuales fueron trasplantadas cuando aún conservaban los cotiledones antes de la emergencia de las primeras hojas verdaderas.

El primer sustrato utilizado consistió en una mezcla de los siguiente materiales: 3 v/v partes de aserrín de partícula gruesa, 1 v/v de tezontle con diámetros entre 0 y 2 cm y 2 v/v de composta realizada con los materiales siguientes: 50 % cachaza, 25% vacuno y 25% pulpa de café. El contenedor es un tubete plástico color negro de un litro de capacidad en donde se sembraron 2 plantas por contenedor. Las características del sustrato fueron: pH 4.75; Conductividad eléctrica 3.44; Relación C/N: 18; mmhos cm^{-1} ; Porosidad Total 53%; Porosidad Aireación 15%; Retención de agua 38%; Promedio del diámetro ponderado 2.94 mm; Índice de grosor 44 % y Densidad Aparente 0.35 g mL^{-1}

Fertilización. El primer factor a estudiar son 3 dosis de fertilizante liberación controlada (7, 9 y 11 g/L) marca MULTICOTE ® con la fórmula con la fórmula 18- 6 - 12 + 2MgO + micro nutrientes (Haifa Chemicals Ltd.) con 2 periodos de liberación, 50% de 4 meses y el 50% restante corresponde a 8 meses.

Poda química de raíz. El segundo factor corresponde a la aplicación o no de poda química de raíz. Para el primer caso, se aplicó un recubrimiento en las paredes internas de los tubetes, con una sal de cobre (CuOH₂ al 7%) más pintura y adherente, y en el segundo caso sin dicho recubrimiento.

Las tres dosis de fertilizante de liberación controlada y los dos niveles de poda química generan un total de seis tratamientos (3 x 2) con cinco repeticiones cada uno, la unidad experimental consta de 20 tubetes y en cada tubete hay 2 plantas.

Se hicieron aplicaciones de fertilizante foliar HAIFA BONUS ® con una fórmula de 13-02-44 y micros a una concentración del 2.5 % cada 15 días para complementar la nutrición a partir de la semana 16 de realizado el tranplante

Potencial de crecimiento radicular (PCR), se realizó en un periodo de 34 días (Rietveld y Tinus, 1987; Haywood *et al.*, 2012) en el cual las plantas se trasladaron a una parte sin malla sombra donde se les procuro solamente el riego en bolsas de plástico la cual contenía un sustrato a base de tezontle, composta y suelo (6,2,3 v/v), con la variante de incluir la prueba de capacidad de campo y punto de marchitamiento por la presencia de suelo a comparación de la primera mezcla . Posteriormente se midió el volumen radicular mediante la técnica de desplazamiento

de y peso seco de raíces en balanza analítica con aproximación de 0.01 g una vez secadas en una estufa de circulación forzada a 70 °C durante 72 h.

Las características del segundo utilizado sustrato en las bolsas para la prueba de potencial de crecimiento radicular fueron: densidad aparente 0.85 g cm⁻³; diámetro medio ponderado 2.34 mm; índice de grosor 58 %, porosidad total 56 %; porosidad aireación 5 %; retención de agua 51 %; pH 4.21; conductividad eléctrica 3.14 dS m⁻¹ y Relación C/N: 12

Los datos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de Tukey al 5%, considerando los factores de fertilización y recubrimiento en el paquete SAS ® 2002.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al ANOVA los tratamientos de fertilización no tuvo efectos significativos sobre la variables de peso seco de la raíz ($p=0.3812$) pero si para el volumen radicular ($p=0.0329$). Las dosis de FLC no presentaron efectos estadísticamente significativos en cuanto a la comparación de medias para las dos variables. El análisis estadístico indica que para ambas variables el efecto de la poda química es altamente significativo ($p<0.0001$) confirmando los beneficios de dicha práctica. En la cuestión de la interacción (FLC*Poda química de raíces) solamente se presentó para la variable volumen radicular ($p=0.0408$).

En el Cuadro 4 se puede apreciar el incremento promedio de 25 plantas dobles en las variables de peso seco de raíces y volumen radical con los valores antes del

transplante y una vez terminada la prueba. Para el peso seco el mayor incremento fue en el tratamiento 1, sin embargo entre los 3 primeros tratamientos la diferencia fue prácticamente nula confirmando que la dosis de fertilización no influyó, una tendencia similar se presentó en los 3 últimos tratamientos.

Para el caso de la variable volumen radicular los incrementos fueron diferentes entre sí, variaron de 8.7 cm³ para el tratamiento 1 y de 4.6 para el T2, donde presento que la dosis de fertilización tuvo diferencias significativas entre dichos tratamientos, sin embargo la mayor dosis tuvo un incremento intermedio , para los T4, T5 y T6 la dosis de 11 g L⁻¹ mayor de fertilizante presento el mayor incremento sin embargo en presencia de la poda química el efecto significativo. Los incrementos fueron notorios en los tres primeros tratamientos con poda química.

Cuadro 4. Datos de la prueba de potencial de crecimiento radicular con valores de peso y volumen radicular antes y después de realizar la prueba.

Tratamiento	Dosis de FLC	Poda química de raíces.	Peso seco de la raíz		Incremento	Vol. Radicular		Incremento
	g L ⁻¹		g		g	mL		mL
T1	7	CuOH ₂ al 7%	0.7a*	2.6a	1.9	4.2abc*	12.9a	8.7
T2	9		0.6ab	2.3a	1.7	4.7ab	9.3b	4.6
T3	11		0.7a	2.5a	1.8	4.8a	11.0ab	6.2
T4	7	Ninguno	0.5b	1.6b	1.1	3.7c	5.1c	1.4
T5	9		0.5b	1.5b	1.0	4.0bc	5.0c	1.0
T6	11		0.5b	1.6b	1.1	3.9bc	5.5c	1.6

Letras en la misma columna indican que no existe diferencia significativa; FLC: Fertilizante de liberación controlada; *Valores antes de la prueba de potencial de crecimiento radicular

El incremento del peso seco de raíces debido a su poda química de raíces se ha reportado en otros trabajos como un indicador de absorción de agua y nutrimentos (Arnold y Young, 1991; Arnold y Struve, 1993; Aldrete *et al.*, 2002; Barajas *et al.*, 2004;; Dumroese *et al.*, 2013).

Otro efecto benéfico de la poda química de raíces fue que la cantidad de raíces generadas tuvo una mejor distribución a lo largo del eje radical de la planta tal como lo reporta Dunn *et al.* (1997), las plantas que crecen en contenedores presentan una mayor densidad radical en la parte inferior (Haywood *et al.*, 2012), donde la uniformidad se considera un parámetro de mayor calidad deseado para una planta (Chang y Lin, 2006; Liu *et al.*, 2016).

En cuanto a la relación raíz tallo puede modificarse mediante el volumen de enraizamiento, el uso de sales de cobre aumenta el número de raíces cortas al tiempo que reduce la relación raíz tallo se recomiendan para coníferas valores entre 0.45 y 0.65 para un mejor desempeño en campo (Romero *et al.*, 1986) En plantaciones el mayor número de raíces cerca de la superficie del suelo es benéfico debido a la mayor presencia de agua y nutrimentos en la capa superficial de suelo (Sword *et al.*, 2009).

Al momento sacar las plantas de los tubetes para trasplantarlas en las bolsas se apreció una menor cantidad de raíces en las orillas del cepellón en los tratamientos donde fue aplicada la poda química, lo cual indicó una mejor arquitectura de raíces (Aldrete *et al.*, 2002; Armitage y Gross, 1996; Arnold y Struve, 1993; Chang y Lin,

2006; Marler y Musser, 2016) evitando su pérdida y ruptura al momento de la extracción de las plantas (Brass *et al.*, 1996; Schuch y Pittenger, 1996).

La sal de cobre genera un crecimiento más ordenado y uniforme llegando a crear una mayor cantidad de raíces y un buen potencial de crecimiento radicular (Burdett *et al.*, 1983; Barajas *et al.*, 2004; T. Marler y Musser, 2016). La poda química de raíces presenta mejorías en su morfología, aunque en algunos casos en los contenedores de poda aérea han resultado mejores (Marler y Musser, 2016).

Rodriguez *et al.* (2015) trabajaron con las plantas de berenjena tratadas con hidróxido de cobre producidas en bandejas, presentaron diferencias significativas trascurridos 49 días después de trasplante en el volumen de raíces de las plantas tratadas con poda química observándose más volumen con respecto al tratamiento testigo.

El uso de la poda química de raíces permite que las plantas que crecen en contenedores puedan permanecer más tiempo antes de ser trasplantadas cuando las condiciones no sean favorables por ejemplo cuando las lluvias son escasas.

2.5 CONCLUSIONES

La poda química de raíces mejoró el crecimiento de las raíces con mayores valores de peso seco de raíz y volumen radicular.

2.6 LITERATURA CITADA

- Aguilera R. M., A. Aldrete, T. Martínez T. y V. M. Ordaz C. (2016) Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34);7–19.
- Aldrete A., J. G. Mexal and J. López-Upton (2005) Provenance variation and response to chemical root pruning in *Pinus greggii*. *Agrociencia* 39;363–574.
- Aldrete A., J. G. Mexal, R. Phillips and D. Vallotton (2002) Copper coated polybags improve seedling morphology for two nursery-grown Mexican pine species. *For. Ecol. Manage* 163;197–204.
- Allen K. S., R. W. Harper, A. Bayer and J. N. Brazee (2017) Urban Forestry & Urban Greening A review of nursery production systems and their influence on urban tree survival. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21;183–191. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.12.002>
- Amecafe (2017) Análisis del Mercado de Consumo de Café en México 2016. https://amecafe.org.mx/wpcontent/uploads/2017/08/Euromonitor_Informe_Análisis-de-consumo-2016-AMECAFE-Final.pdf (Mayo-2018).
- Armitage A. M. y P. M. Gross (1996) Copper-treated Plug Flats Influence Root Growth and Flowering of Bedding Plants. *HortScience* 31(6);941–943.
- Arnold M. A. and D. K. Struve (1993). Root Distribution and Mineral Uptake of Coarse-rooted Trees Grown in Cupric Hydroxide-treated Containers. *HortScience* 28(10); 988–992.
- Arnold M. A. and E. Young (1991) Pruning Affect Apple and Green Ash Root Growth and Cytokinin Levels. *HortScience* 26(3);242–244.
- Baker J. F., N. L. Burrows, A. E. Keohane and L. F. Filippis (1995) Chemical root pruning of kangaroo paw (*Anigozantho flavidus*) by selected heavy metal carbonates. *Scientia Horticulturae* 62; 245–253.

- Barajas R. J. E., A. Aldrete, J. Vargas H. y J. López U. (2004) La poda química incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38(5);545–553.
- Brass T. J., G. J. Keever, D. J. Eakes and C. H. Gilliam (1996) Styrene-lined and Copper-coated Containers Affect Production and Landscape Establishment of Red Maple. *HortScience* 31(3);353–356.
- Burdett A. N., D. G. Simpson and C. F. Thompson (1983) Root development and plantation establishment success. *Plant and Soil* 71;103–110.
- Chang Y. and C. Lin (2006) Copper Hydroxide Improved root Quality of Palimara Alstonia in Plastic Containers. *HortTechnology* 16(2); 357–359.
- Day S. D., P. E. Wiseman, S. B. Dickinson and J. R. Harris (2010) Contemporary concepts of root system architecture of urban trees. *Arboricult. Urban For.* 36; 149–159. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02648.x>.
- Dominguez-Lerena S., N. Herrero-Sierra, I. Carrasco-Manzano, L. Ocaña-Bueno, J. L. Peñuelas-Rubira and J. G. Mexal (2006) Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Manegemen* 221;63–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>
- Dubrovsky J. G. y S. Shishkova (2007) Enigmas de la raíz: la parte oculta de la planta. *Bioteconología* 14; 201–212.
- Dumroese R. K., D. L. Haase, K. M. Wilkinson and T. D. Landis (2015) Collecting, Processing, and Treating Propagules for Seed and Vegetative Propagation in Nurseries. *Propagule Collection* 1–27. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8>
- Dumroese R. K., S. S. Sung, J. R. Pinto, A. Ross-Davis and D. A. Scott (2013) Copper root pruning , and nitrogen supply in a container. *New Forests* 44; 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9377-5>

- Dunn G. M., J. R. Huth and M. J. Lewty (1997) Coating nursery containers with copper carbonate improves root morphology of five native Australian tree species used in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 37;143–155.
- Fernandes J. C. and F. S. Henriques (1991) Biochemical, Physiological, and Structural Effects of Excess Copper in Plants. *Botanical Review* 57(3); 246–273.
- Gilman E. F., M. Paz and C. Harchick (2015) Retention time in three nursery container volumes impacts root architecture. *Arboricult. Urban For.* 41;146–154.
- Haywood J. D., S. S. Sung, M. Anne and S. Sayer (2012). Copper Root Pruning and Container Cavity Size Influence Longleaf Pine Growth through Five Growing Seasons. *Appl. For. Sci.* 36(3);146–151.
- Lindstrom A. and G. Rune (1999) Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. *Plant and Soil* 271; 29–37.
- Liu J., M. Bloomberg, Li G. and Liu Y (2016) Effects of copper root pruning and radicle pruning on first-season field growth and nutrient status of Chinese cork oak seedlings. *New Forests* 47(5); 715–729. <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9540-x>
- Lynch J. (1995) Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 109; 7–13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.1.7>.
- Marler T. E. and D. Willis (1996) Chemical or Air Root-Pruning Containers Improve Carambola , Longan , and Mango Seedling Root Morphology and Initial Root Growth after Transplanting 1. *Environmental Horticulture* 14(2); 47–49.
- Marler T. and C. Musser (2016) Chemical and air pruning of roots influence post-transplant root traits critically endangered *Serianthes nelsonii*. *Plant Root* 10; 21–25. <https://doi.org/10.3117/plantroot.10.21>

- Marschner P. (2012) Rhizosphere biology. In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher plants. (3rd editio). London: Academic Press. 450 p.
- Mathers H. M., S. B. Lowe, C. Scagel, D. K. Struve and L. T. Case (2007) Abiotic Factors influencing Root Growth of Woody Nursery Plants in Containers. *HortTechnology* 17(2);151–162.
- Pacheco-Escalona F. C., A. Gómez-Guerrero, A. Aldrete, A. M. Fierros-González y V. M. Cetina-Alcala (2007) Absorción de Nitrógeno y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. Seis años después de una poda química de raíz. *Agrociencia* 41(6); 675–685.
- Rietveld W. J. and R. W. Tinus (1987) Alternative Methods to Evaluate Root Growth Potential and Measure Root Growth 1. In Intermountain Forest Nursery Association Meeting. Oklahoma, Oklahoma.
- Ritchie G. A. and J. R. Dunlap (1980). Root Growth Potential: Its development and expression in Forest Tree seedlings. *N. Z. For Sci*, 10(1); 218–248.
- Ritchie G. and Y. Tanaka (1990) Root Growth Potential and the Target Seedling. Chapter 4. In Proceedings, Western Forest Nursery Association (pp. 37–51). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Rodríguez Z. F., M. Gutiérrez and J. G. Lugo (2015) Respuesta de las plantas de berenjena a la poda química de raíces. *Bioagro* 27(3); 189–194.
- Romero-Figueroa J. C., M. D. N. Rodríguez-Mendoza, J. A. S. Escalante-Estrada, M. C. Gutiérrez-Castorena, C. B. Peña-Valdivia y J. A. Burguete-Hernández. (2017). Dinámica de crecimiento de stevia cultivada en sustratos organicos en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3); 341–350.
- Romero A. N., J. T. Ryder, J. T. Fisher and J. G. Mexal (1986) Root System Modification of container stock for arid land Plantings. *Forest Ecology and Management* 16; 281–290.

- Rossi V. L., A. Talamini y F. D. Fleig (2008) Crescimento e qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas a poda química de raízes. *Ciencia Florestal*, 18(4), 435–442.
- Sampson P. H., C. W. Templeton and S. J. Colombo (1996) An overview of Ontario's Stock Quality Assessment Program 461–479.
- Schuch U. K. and D. R. Pittenger (1996) Root and Shoot Growth of Eucalyptus in Response to Container Configuration and Copper Carbonate. *HortScience* 31(1); 165
- South D. B. and D. G. Donald (2002) Effect of nursery conditioning treatments and fall fertilization on survival and early growth of *Pinus taeda* L. seedlings in Alabama. *Can. J. For. Res.* 32; 1171–1179.
- Sword M. A., J. D. Haywood and S. S. Shi-Jean (2009) Establishment of Container-Grown Longleaf Pine Seedlings. *For. Sci.* 55(5); 377–389.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La producción en vivero de dos plantas de café por contenedor de un litro con sustratos compuesto de tres partes de aserrín, dos de composta y tres de tezontle y 11 g L^{-1} de fertilizante de liberación controlada resultó con los mejores atributos morfológicos. En la concentración nutrimental de las hojas no presentó diferencias significativas por la cantidad de fertilizante utilizado, todos los tratamientos no presentaron síntomas de deficiencia nutrimental siendo una dosis menor incluso a la reportada por otros autores que la proponen en el mismo intervalo pero para una sola planta.

Con el efecto de la poda química de raíces se confirmó a través de una prueba de potencial de crecimiento radical mayores valores de volumen y peso del sistema radical.

El uso de las tecnologías aplicadas en el presente trabajo se pueden hacer de manera conjunta o separada dependiendo del poder adquisitivo del productor, cualquier innovación es ventajosa, sin embargo es conveniente realizar estudios financieros en este campo de estudio bajo diferentes escenarios, otra recomendación son los muestreos periódicos de la evolución de las características del sustrato con la finalidad de relacionarlo con diferentes periodos de desarrollo.