



PERFECCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE POSTURAS CAFÉ EN TUBETES IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF COFFEE SEEDLINGS IN TUBES

© CIRO SÁNCHEZ ESMORIS^{1*}, PEDRO PABLO HENRY TORRIENTE², FELIPE MARTÍNEZ SUÁREZ³, TERESA SUÁREZ⁴, YENISLEIDYS SÁNCHEZ KEROL⁵, VÍCTOR MANUEL TEJEDA MARRERO⁶, ALEXANDER MIRANDA CABALLERO⁷

¹Unidad de Ciencia y técnica de Base Jibacoa, CP 54590, Manicaragua, Villa Clara, Cuba. E-mail: ciro@jibacoa.inaf.co.cu

²Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba. E-mail: henry@forestales.co.cu, henry.jamaica1@gmail.com

³Unidad de Ciencia y Técnica de Base Tercer Frente, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: direccion@tercerfrente.inaf.co.cu

⁴Unidad de Ciencia y Técnica de Base Investigación e Innovación Tecnológica, La Habana, Cuba. E-mail: teresa@forestales.co.cu

⁵Unidad de Ciencia y Técnica de Base Itabo, Matanzas, Cuba. E-mail: itabo@forestales.ciges.inf.cu

⁶Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba. E-mail: dirgeneral@boyeros.iagric.cu

⁷Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba. E-mail: direccion@inca.edu.cu

*Autor para correspondencia: esmoris2121@gmail.com

RESUMEN

La producción de posturas de cafetos en tubetes ha revolucionado la caficultura a nivel mundial debido al incremento en la eficiencia del proceso productivo. La transferencia de esta tecnología requiere adecuaciones específicas para adaptarse a las condiciones locales, lo que ha generado una serie de interrogantes en el contexto de la caficultura cubana. Con el objetivo de responder a estas preguntas, se diseñaron cuatro grupos de experimentos en los viveros de las Estaciones Experimentales Agroforestales de Jibacoa, en la provincia de Villa Clara, y Tercer Frente, en la provincia de Santiago de Cuba, ambas pertenecientes al Instituto de Investigaciones Agroforestales. En estos experimentos, se estudió el efecto de la capacidad y el tamaño de tres tipos de tubetes, así como diferentes proporciones de cascarilla de arroz carbonizada (CAC) y fibra de coco. Además, se evaluó la interacción de estas variables con dosis y momentos de aplicación de Multicote™ (FLC) en el desarrollo de posturas de café en tubetes. Los resultados mostraron que los mayores valores morfológicos de las posturas se obtuvieron en tubetes con capacidades de 180 cm³ y 220 cm³. Las proporciones de 50% CAC + 50% de suelo y 50% fibra de coco + 50% de suelo, combinadas con 2 g de Multicote™, presentaron el mejor comportamiento, sin diferencias significativas en altura, diámetro del tallo, número de pares de hojas y área foliar en comparación con el tratamiento de 50% CAC + 50% de suelo + 3 g de Multicote™. Se demostró que la aplicación de Multicote™ incrementó las variables de desarrollo evaluadas hasta dosis que oscilaron entre 2 y 3 g por tubete, dependiendo del año experimental. Sin embargo, dosis superiores a este rango provocaron una disminución en algunas variables de las posturas, incluso con valores inferiores al tratamiento sin fertilizante. Cuando se dispone de FLC, se recomienda su aplicación en el momento de conformar el sustrato, utilizando una dosis de 2 g por tubete. En caso de no contar con FLC, se sugiere aplicar fertilizante convencional al momento de la mezcla, con aplicaciones complementarias en el tercer y quinto par de hojas, respectivamente.

Palabras claves: cascarilla de arroz, fibra de coco, Multicote™, morfología, fertilizantes convencionales

ABSTRACT

The production of coffee seedlings in tubes has revolutionized coffee growing worldwide due to the increase in the efficiency of the production process. The transfer of this technology requires specific adjustments to adapt to local conditions, which has generated a series of questions in the context of Cuban coffee growing. In order to answer these questions, four groups of experiments were designed in the nurseries of the Jibacoa Agroforestry Experimental Stations, in the province of Villa Clara, and Tercer Frente, in the province of Santiago de Cuba, both belonging to the Institute of Agroforestry Research. In these experiments, the effect of the capacity and size of three types of tubes was studied, as well as different proportions of carbonized rice husk (CAC) and coconut fiber. In addition, the interaction of these variables with doses and application times of Multicote™ (FLC) in the development of coffee seedlings in tubes was evaluated. The results showed that the highest morphological values of the seedlings were obtained in tubes with capacities of 180 cm³ and 220 cm³. The proportions of 50% CAC + 50% soil and 50% coconut fibre + 50% soil, combined with 2 g of Multicote™, presented the best performance, with no significant differences in height, stem diameter, number of leaf pairs and leaf area compared to the treatment of 50% CAC + 50% soil + 3 g of Multicote™. It was shown that the application of Multicote™ increased the development variables evaluated up to doses ranging between 2 and 3 g per tube, depending on the experimental year. However, doses higher than this range caused a decrease in some variables of the seedlings, even with values lower than the treatment without fertilizer. When FLC is available, its application is recommended at the time of shaping the substrate, using a dose of 2 g per tube. If FLC is not available, it is suggested to apply conventional fertilizer at the time of mixing, with complementary applications on the third and fifth pair of leaves, respectively.

Keywords: rice husk, coconut fiber, Multicote™, morphology, conventional fertilizers

Recibido: 27/6/2024

Aceptado: 04/9/2024

Conflicto de Intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



CONTEXTO, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La premisa fundamental para establecer plantaciones de cafeto altamente productivas es la obtención de posturas sanas y vigorosas. Para lograrlo, es necesario utilizar semillas con alta pureza varietal que expresen su máximo potencial productivo en cada sitio. Además, se debe garantizar un adecuado balance nutrimental en el sustrato, lo que implica seleccionar suelos de buena calidad y con altos contenidos de materia orgánica (Sánchez et al., 2006).

La producción de posturas de café se realiza principalmente en bolsas de polietileno negro, cuyas dimensiones varían según el tiempo que las plantas permanecerán en el vivero (Sánchez et al., 2009; Cordón, 2019). No obstante, en los últimos años, varios países productores de café, como Brasil, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica, han incrementado el uso de tubetes plásticos. Este método ha demostrado ser eficaz para obtener posturas de óptima calidad, mejorar la eficiencia de la mano de obra en actividades como el llenado, riego y trasplante, y reducir el uso de insumos y los costos de transporte del vivero a la finca (Sánchez et al., 2018; Cabana, 2013). Además, la inversión en tubetes se justifica por su reutilización, a diferencia de las bolsas tradicionales, que generalmente se emplean una sola vez (Blandón, 2008; Trujillo, 2012).

En los viveros, la producción de posturas requiere el uso de abono orgánico para formar el sustrato. En Cuba, Díaz et al. (2013) señalaron que, independientemente del contenido de materia orgánica del suelo, se debe aplicar abono orgánico como pulpa de café, cáscara de cacao, guano de murciélago (cumpliendo las medidas sanitarias establecidas), estiércol, gallinaza, cachaza o compost. Estos materiales deben estar bien descompuestos y someterse a análisis químicos y nematológicos. Además, deben cumplir con requisitos específicos, como un pH entre 5.5 y 7.0, un contenido de carbonato de calcio inferior al 5 % y estar libres de nematodos fitoparásitos.

En los últimos años, la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) y la fibra de coco se han convertido en dos de los sustratos más utilizados en la producción de posturas en tubetes. La proporción de estos materiales varía según el cultivo y el tipo de suelo (Terres, Artetxe y Beunza, 1997, citados por Saboya (2010)). Estos sustratos facilitan el desarrollo radical óptimo y presentan una alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible para las plantas (Calderón, 2001).

Durante la etapa de vivero, los riegos frecuentes incrementan las pérdidas de nutrientes por lixiviación (Teixeira et al., 2009). Para compensar este déficit, es necesario reponer los nutrientes perdidos (Klooster et al., 2012). Sin embargo, al aplicar fertilizantes convencionales altamente solubles, se debe tener especial cuidado, ya que

pueden aumentar la concentración salina del sustrato y causar quemaduras si entran en contacto directo con la planta (J. N. Irigoyen, 1997).

Una alternativa eficaz es el uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC). Estos abonos granulados están recubiertos con polímeros biodegradables que regulan la liberación de nutrientes. Según el grosor del recubrimiento, el tipo de polímero, el número y el tamaño de los orificios, la liberación puede durar entre dos y dieciséis meses. La formulación de estos fertilizantes permite una liberación continua de nutrientes, ajustada a las necesidades de las plantas. La entrega de nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos está influenciada por el tipo de polímero utilizado y la temperatura del suelo, donde una mayor temperatura acelera la liberación. El contenido de agua del suelo, su pH y las actividades microbianas no afectan significativamente este proceso (Haifa Group Multicote™ Agri, 2014).

Estudios realizados por Mendonça et al. (2008) y Costa et al. (2011) demostraron que la aplicación de FLC promueve un crecimiento más rápido, mejora el estado nutricional y reduce las actividades operativas en viveros de cítricos, aguacate, guanábana, papaya y tamarindo. En el caso del café, Oliveira et al. (2013) encontraron que el uso de Osmocote® (FLC) incrementó la masa seca y la producción de raíces de todos los diámetros, independientemente de las dosis aplicadas.

La producción de plántulas en tubetes representa una opción viable para establecer plantaciones de café altamente productivas (J. N. Irigoyen, 1997; Marana et al., 2008; Oliveira et al., 2013). Sin embargo, Melo (1999) destacó la necesidad de realizar estudios adicionales para determinar el tamaño adecuado del tubete, la composición óptima del sustrato, el tipo de siembra más apropiado, la fertilización y la frecuencia de riego más efectiva para maximizar los resultados en cada sitio.

En Cuba, se han realizado importantes inversiones para implementar esta tecnología de manera intensiva en diferentes macizos montañosos. No obstante, existen opiniones divergentes sobre su uso. Por ello, se diseñaron cuatro grupos de experimentos con el objetivo de evaluar la influencia del tamaño o capacidad del tubete, el uso de materiales endógenos como la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) y la fibra de coco mezclada en diferentes proporciones con suelo y abono orgánico. Estos experimentos también analizaron la interacción con distintas dosis de fertilizantes de liberación controlada (Multicote) en el desarrollo de las posturas de café.

METODOLOGÍAS EMPLEADAS

Condiciones experimentales generales

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el trabajo y facilitar la interpretación de los resultados se desarrollaron cuatro grupos experimentales.

Grupo experimental 1

Efecto de la capacidad de los tubetes y la aplicación de fertilizantes convencionales en el desarrollo de las posturas de café

Los experimentos se llevaron a cabo durante tres campañas en el vivero de la Estación Experimental Agro-forestal Jibacoa, ubicada a 22. °01'N y a 79°58'O, a 340 msnm., en la provincia de Villa Clara. El período de estudio abarcó desde noviembre de 2016 hasta junio de 2019. Se utilizó una mezcla de suelo con cachaza en una proporción de 3:1 v/v (Tabla 1).

El suelo se clasifica como Cambisoles Gléyicos según el World Reference Base for Soil Resources (FAO, 2015). Es representativo de las zonas premontañosas de la región central de Cuba, específicamente en el macizo montañoso de Guamuhaya, donde se ubica entre 340 y 400 msnm. En esta área, son comunes los viveros o zonas destinadas a la producción de posturas de cafetos (Sánchez et al., 2009). El suelo se clasifica como de fertilidad media, según sus contenidos de cationes intercambiables (Rivera et al., 2003). Estos valores aumentaron tras la mezcla del suelo con el abono orgánico.

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con un esquema factorial que incluyó 10 tratamientos. Estos tratamientos resultaron de la combinación de tres tipos de tubetes, tres momentos de fertilización y un testigo de producción (3x3x1). Los tres tipos de tubetes utilizados fueron: T1, tubetes de 120 cm³ de capacidad; T2, tubetes de 180 cm³ de capacidad; y T3, tubetes de 220 cm³ de capacidad.

Los tres momentos de fertilización fueron: F1, aplicación del fertilizante mezclado con el sustrato antes del llenado de los tubetes; F2, aplicación del fertilizante mezclado con el sustrato antes del llenado de los tubetes y en el tercer par de hojas; y F3, aplicación del fertilizante mezclado con el sustrato antes del llenado de los tubetes y en el tercer y quinto par de hojas. El testigo correspondió a las recomendaciones técnicas (Díaz et al., 2013), utilizando bolsas de polietileno negro de 14 cm de diámetro por 22 cm de alto. Estas bolsas se llenaron con una mezcla de tres partes de suelo y una de cachaza (3:1 v/v).

A todos los tratamientos se les aplicaron dos gramos de superfosfato triple por bolsa o tubete al momento de conformar el sustrato para su llenado. En los tratamientos

donde se aplicó fertilizante en el tercer y quinto par de hojas, este se suministró en forma líquida, a una concentración del 12%, con una dosis de 20 ml por planta, con la fórmula 7-14-7. Posteriormente, se realizó un riego ligero para homogenizar y facilitar la absorción del fertilizante, evitando posibles quemaduras en las hojas.

Cuando el 90% de las posturas alcanzaron los siete meses, se evaluaron diversas variables morfológicas, como la altura, el diámetro del tallo, el número de pares de hojas y la masa seca de los órganos y total. La metodología empleada se describe en los aspectos generales o comunes para los cuatro grupos de experimentos. En este grupo de experimentos, se determinó el contenido medio de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las posturas.

Las plantas se separaron por órganos (hojas, tallos y raíces) y se colocaron en una estufa a 65°C hasta alcanzar una masa seca constante. Se determinó el valor de masa seca para cada órgano (g) y se calculó la masa seca total. Además, se realizó un análisis químico en los diferentes órganos de la planta para determinar el contenido de N, P y K (%), así como los contenidos medios en las plantas.

Las determinaciones se realizaron mediante los siguientes métodos:

- **Nitrógeno (N):** Digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler (Ríos et al., 1982).
- **Fósforo (P):** Digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y determinación colorimétrica con el método del molibdovanadato (Ríos et al., 1982).
- **Potasio (K):** Digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y determinación mediante fotometría de llama.

Grupo experimental 2

Determinación de la influencia de diferentes proporciones de cascarilla de arroz carbonizada, fibra de coco y dosis de Multicote™ en el desarrollo de posturas de café en tubetes

Los experimentos se llevaron a cabo durante tres campañas en el vivero de la Estación Experimental Agro-forestal Jibacoa, ubicada a 22. °01'N y a 79°58'O, a 340 msnm., en la provincia de Villa Clara. El período de estudio abarcó desde noviembre de 2016 hasta junio de 2019. Se empleó un suelo Pardo Gleyzoso.

Tabla 1. Algunas características agroquímicas de los sustratos (Promedio tres campañas).

Tratamientos	pH (KCl)	Mat.Org (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ^{**}	Mg ^{**}
			(mg.100) ⁻¹ de suelo		(cmol. Kg ⁻¹)	
Suelo	5.80±0.05	3.40± 0.32	19.40± 4.25	18.50± 0.21	8.37± 0.54	2. 0± 0.35
3:1	6.30 ± 0.04	5.65± 0.25	87.80±6.40	47.40± 0.18	14.21± 0.48	4.80± 0.28

El diseño experimental empleado fue completamente aleatorizado, con un esquema factorial que incluyó 26 tratamientos. Estos tratamientos resultaron de la combinación de cinco proporciones de suelo (Tabla 2) y cascarilla de arroz carbonizada (CAC): 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Además, se aplicaron cinco dosis de fertilizante Multicote™ de la fórmula 18-6-12: 0, 1, 2, 3 y 4 gramos, equivalentes a 0; 0,06; 0,12; 0,18; y 0,24 g de P₂O₅, respectivamente. También se incluyó un testigo de referencia en un esquema 5x5x1.

El testigo de referencia consistió en la aplicación de dos gramos de superfosfato triple por tubete durante la preparación del sustrato. En las etapas correspondientes al tercer y quinto par de hojas, se aplicó una fórmula líquida 7-14-7 a una concentración del 12%, utilizando 20 ml por planta. Posteriormente, se realizó un riego ligero para homogenizar la distribución del fertilizante, facilitar su absorción y prevenir posibles quemaduras en las hojas.

El fertilizante Multicote™ se incorporó al sustrato durante su preparación, según las dosis establecidas para cada tratamiento. Estas dosis correspondieron a 0; 5,5; 11; 16,5; y 22 kg por metro cúbico de mezcla. Este enfoque permitió evaluar el efecto de diferentes concentraciones del fertilizante en el crecimiento de las plantas.

El experimento con fibra de coco se desarrolló exclusivamente durante la campaña 2017-2018, bajo condiciones similares a las empleadas en el estudio con cascarilla de arroz carbonizada. Este enfoque permitió comparar los resultados obtenidos con ambos materiales en un mismo contexto experimental.

En todos los casos, las posturas se cultivaron en tubetes con una capacidad de 180 cm³. Este método garantizó un control preciso del volumen de sustrato y facilitó el manejo de las plantas durante el experimento.

Grupo experimental 3

Determinación la influencia de diferentes dosis de Multicote™ en el desarrollo de posturas de café en tubetes empleando como sustrato estiércol vacuno descompuesto en proporción 1:1 v/v

El experimento se llevó a cabo durante tres montajes realizados entre diciembre de 2017 y mayo de 2019 en el vivero del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, ubicado en la Unidad de Ciencia y Tecnología de Base Tercer Frente. Esta unidad se encuentra situada a 20° 9' 15.8394"

de latitud Norte y -76° 16' 16.3554" de longitud Oeste. El estudio se diseñó para evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilizante de liberación lenta en el desarrollo de posturas cultivadas en un sustrato específico.

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado para analizar el impacto de siete dosis de fertilizante: 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 gramos, equivalentes a 0,06; 0,12; 0,18; 0,24; 0,30 y 0,36 g de P₂O₅ por tubete, respectivamente. El sustrato utilizado consistió en una mezcla de suelo Pardo sialítico (Hernández et al., 2015) y estiércol vacuno descompuesto en una proporción 1:1 v/v. Este enfoque permitió evaluar el crecimiento de las posturas bajo condiciones controladas.

Las temperaturas medias registradas durante los periodos experimentales variaron entre 24,6° C en el primer periodo (diciembre 2017 - abril 2018), 27,9° C en el segundo (mayo - octubre 2018) y 27,4° C en el tercero (noviembre 2018 - mayo 2019). Estas condiciones climáticas influyeron en el desarrollo de las posturas y en la eficacia de las dosis de fertilizante aplicadas.

El fertilizante Multicote™ se incorporó al sustrato durante su preparación, según las dosis establecidas para cada tratamiento. Las dosis aplicadas correspondieron a 0; 5,5; 11; 16,5; 22 y 33 kg por metro cúbico de mezcla. Este método aseguró una distribución homogénea del fertilizante en el sustrato, lo que permitió evaluar su efecto en el crecimiento de las posturas de manera precisa y controlada.

Grupo experimental 4

Determinación de la influencia del momento de aplicación de Multicote™ en el desarrollo del café en tubetes

Para una mejor comprensión, los fertilizantes se nombraron Multicote™ I, Multicote™ II y Multicote™ III, según la fecha de desarrollo de cada uno. Los tratamientos estudiados consistieron en la aplicación del fertilizante de liberación controlada (Multicote™) en tres momentos específicos: al conformar el sustrato, al momento de la siembra de la semilla y cuando las posturas alcanzaron el segundo par de hojas. El fertilizante Multicote™ (18-6-12) se aplicó en una dosis de 2 g por tubete, equivalente a 0,12 g de P₂O₅ por tubete.

Aspectos generales

Para caracterizar el estado de la fertilidad química del suelo, al inicio de cada experimento se tomaron muestras compuestas por cinco submuestras, extraídas a una profundidad de

Tabla 2. Principales características químicas del suelo utilizado.

Tipo de suelo	pH (KCl)	M.O (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ^{**}	Mg ^{**}
			mg 100 ⁻¹ de suelo		(cmol. kg ⁻¹)	
Pardo Gleyzoso	6,10	3,42	23,44	18,82	9,64	2,38

0-20 cm. Una vez realizadas las mezclas de suelo y abono orgánico (sustratos), se procedió a tomar muestras compuestas para el análisis químico. Las determinaciones realizadas incluyeron:

- pH, medido por el método potenciométrico en KCl, con una relación suelo-solución de 1:2,5 (NC ISO 10390, 1999).
- Materia orgánica (%), mediante el método de Wakley-Black, mediante colorimetría y oxidación con dicromato de potasio 1N y ácido sulfúrico concentrado (NC ISO 10390, 1999).
- P₂O₅ y K₂O, determinados por el método de Oniani. El fósforo se midió por colorimetría (NRAG 279, 1980), y el potasio por fotometría de llama, con extracción en ácido sulfúrico 0,1 N y una relación suelo-solución de 1:2,5 durante 3 minutos (NC 52, 1999).
- Ca y Mg, analizados mediante una solución extractiva de NH₄(CH₃COO) 1N a pH = 7, y valorados con EDTA (NC 65, 2000).

Evaluación del desarrollo de las posturas

La evaluación del desarrollo y la calidad de las posturas se realizó cuando estas alcanzaron entre el sexto y séptimo par de hojas, aproximadamente a los siete meses, según el experimento. Se determinaron las siguientes variables:

- Altura de la planta: medida con una regla graduada desde el cuello de la planta hasta el ápice (cm).
- Diámetro del tallo: medido con un pie de rey a 1 cm del cuello (cm).
- Número de pares de hojas: contabilizado considerando una hoja completamente formada cuando alcanzó más de 10 cm² de área foliar.
- Área foliar: estimada mediante el método desarrollado por Soto (1980), a partir de las dimensiones lineales de las hojas y la aplicación de la fórmula $AF = \text{largo} \times \text{ancho} \times 0,64$ (cm²).
- Masa seca: las plantas se separaron por órganos (hojas, tallos y raíces) y se colocaron en una estufa a 65 °C hasta alcanzar masa seca constante. Se determinó el valor para cada órgano (g) y la masa seca total (sumatoria de la masa seca de la raíz, tallo y hojas).

Descripción de los experimentos

En el primer grupo de experimentos, desarrollado en Jibacoa, se estudiaron tres tipos de tubetes de polipropileno de forma cónica, con capacidades de 120, 180 y 220 cm³, respectivamente. En el resto de los experimentos, realizados en ambas localidades, se emplearon tubetes recomendados para la producción de posturas en Cuba. Estos tubetes eran de polipropileno negro, de forma cónica, con 8 estrías internas,

y tenían dimensiones de 5 cm de diámetro interno en la parte superior, 1 cm de diámetro interno en la abertura inferior, 13 cm de altura y 180 cm³ de capacidad (Sánchez et al., 2018).

En todas las campañas se sembró una plántula de *Coffea arabica* L., variedad “Isla 6-14”, previamente pregerminada en arena, en cada tubete y en las bolsas que conformaron los tratamientos en estudio. Además, en todos los grupos de experimentos se utilizó una malla de sarán negra como sombra, con un paso de luz del 50 %, colocada aproximadamente a dos metros por encima de los tubetes y en el costado del vivero, para evitar la luz solar directa sobre las posturas.

El fertilizante de liberación lenta utilizado fue Multicote™ (18-6-12), con una tasa de liberación total de nutrientes de 60 a 120 días a una temperatura de 30 °C. Cada tratamiento estuvo conformado por una bandeja con 54 tubetes, y se evaluaron 20 plantas de la parte central de cada bandeja, considerando el resto como borde.

Procesamiento estadístico

En Jibacoa, los datos se procesaron mediante un análisis de varianza bifactorial con el programa InfoStat (Balzarini et al., 2008). En Tercer Frente, se empleó el programa Statistica para realizar un análisis de varianza bifactorial en el grupo de experimento número 3, tomando como factores las dosis y los años, mientras que en el cuarto grupo se consideraron los momentos de aplicación del Multicote™ y los años.

Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, referida por Cochran & Cox (1990), con un criterio de $P \leq 0,05$. En ambas localidades se realizaron análisis de regresión polinómica: en Jibacoa, para determinar el efecto de las dosis crecientes de Multicote™ en cada proporción de suelo-CAC y su efecto en el desarrollo de las posturas, se correlacionó con el área foliar. En Tercer Frente, se correlacionó con el área foliar y la masa seca de las posturas. Estas variables se seleccionaron porque expresan adecuadamente la respuesta de desarrollo integrado de las posturas de café (Rivera et al., 2003).

Los valores máximos se determinaron mediante el cálculo de la primera derivada de las ecuaciones de regresión. En Jibacoa, para evaluar si una postura estaba óptima para ser plantada, se utilizó la metodología descrita por Soto (1980), citada por Rivera & Soto (2012). En Tercer Frente, se calculó el índice de calidad mediante la fórmula de Dickson et al. (1960):

$$ICD = \frac{\text{Peso Seco Total (g)}}{\left[\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro Tallo (mm)}} \right] \left[\frac{\text{Peso Seco (g)}}{\text{Peso Seco Raíz (g)}} \right]}$$

Las actividades agrotécnicas se realizaron según lo recomendado en el Instructivo Técnico Café Arábico (Díaz et al., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la capacidad de los tubetes y la fertilización en el desarrollo de las posturas de café

Al analizar el efecto de los tratamientos aplicados en el desarrollo de las variables estudiadas durante las tres campañas, se observó que los mayores valores en la altura de las plantas, el diámetro del tallo, el área foliar y la masa seca total se alcanzaron en las posturas cultivadas en los tubetes de mayor capacidad (180 cm³ y 220 cm³) con la aplicación de fertilizante NPK (7-14-7) al inicio y en el tercer y quinto par de hojas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Sánchez et al. (2018), quienes sugieren que el aumento del crecimiento de las plantas pudo estar motivado por la mayor cantidad de sustrato y fertilizantes, lo que resultó en una mayor disponibilidad de nutrientes.

La capacidad del envase utilizado es un factor determinante para obtener posturas de óptima calidad. En Centroamérica, la producción de posturas se realiza generalmente en bolsas de polietileno negro, cuyas dimensiones varían según el tiempo que las plantas permanecerán en el vivero. Si el vivero es para un máximo de 180 días después del trasplante, se usan bolsas de 16 × 20 cm; para períodos más largos, se emplean bolsas de 18 × 26, 23 × 26 y 23 × 31 cm (Blandón, 2008). Esta variación en el tamaño de las bolsas asegura que las plantas dispongan del volumen de sustrato y nutrientes necesarios para su desarrollo.

Según N. J. Irigoyen (2000), es importante considerar que el tamaño de la bolsa está en función del tiempo que durará la etapa de vivero, ya que a mayor tiempo, la planta crecerá más y necesitará un mayor volumen de sustrato y nutrientes. En este estudio, el tiempo de permanencia en los tubetes fue similar para todos los tratamientos, pero varió el volumen del sustrato utilizado, según del tamaño y capacidad del tubete. Sin embargo, (González, 2001), al comparar bolsas de 10x20 cm con tubetes de 150 cm³ en la producción de plantas de café en Honduras, no encontró diferencias significativas en el desarrollo de las posturas producidas en ambos recipientes.

Se observó un marcado efecto del momento de aplicación de fertilizantes en el desarrollo de las posturas de café. Los mayores valores en altura, diámetro del tallo, área foliar y masa seca se alcanzaron cuando el fertilizante se aplicó mezclado con el sustrato al inicio y en dos aplicaciones líquidas adicionales, sin tocar las hojas y el tallo de las plantas, cuando el 90% de estas alcanzaron el tercer y quinto par de hojas, respectivamente. Los valores más bajos se obtuvieron cuando el fertilizante se aplicó solo al inicio del experimento. Estos resultados coinciden con los informados por Müller et al. (1997), Neto et al. (1999) y A. Costa (2000), quienes señalaron que los sustratos comúnmente utilizados en tubetes no pueden suministrar las cantidades adecuadas de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plántulas, por lo que es necesario complementar con fertilizantes sólidos o mediante fertirrigación.

Blandón (2008), al estudiar el efecto de tres sustratos y tres tipos de fertilización en almácigos de café en Honduras en tubetes de 150 cm³, obtuvo los mejores resultados con el sustrato Pro-Mix® y fertilizando una sola vez con Osmocote®, un fertilizante de liberación controlada diseñado para liberar nutrientes según las necesidades de cada tipo de planta en su fase de crecimiento. Este método permitió una utilización eficiente de los nutrientes, lo que redujo el desperdicio y la contaminación (Palacios, 2008). En este estudio, al no disponer de fertilizantes de liberación controlada, los mejores resultados se lograron al aplicar fertilizantes convencionales sin recubrimiento polimérico, mezclados con el sustrato al inicio del experimento y en el tercer y quinto par de hojas en forma líquida, concentrados alrededor del tallo sin contacto con el área foliar.

La mezcla de suelo con cachaza (testigo de producción) en una proporción 3:1 (v/v) no mostró diferencias significativas entre sí, pero sí con el resto de los tratamientos estudiados. Al estudiar diferentes niveles de fertilidad en el sustrato en este tipo de suelo, Sánchez et al. (2009) determinaron que la relación suelo-abono orgánico utilizada satisface el óptimo desarrollo de las posturas en bolsas de polietileno negro (14x22 cm). Este hallazgo respalda la eficacia de la mezcla propuesta para el crecimiento de las plantas.

Para definir el momento adecuado en que las posturas deben ser trasladadas al sitio definitivo, es necesario considerar indicadores que caractericen su calidad biológica. Generalmente, se utiliza como criterio el número de pares de hojas verdaderas, definiéndose un rango entre 5 y 7 pares. Al analizar el crecimiento de las posturas de café en tres altitudes diferentes y basándose en el estudio de la dinámica de desarrollo de la masa seca, Rivera & Soto (2012b) determinaron que las posturas están listas para ser plantadas cuando alcanzan el sexto par de hojas verdaderas, con una altura superior a 17 cm, una superficie foliar de 300 cm² y una masa seca total de 3 g. En las tres campañas, las posturas producidas en los tubetes con 180 cm³ y 220 cm³ de capacidad cumplieron con estos requisitos, mientras que las producidas en tubetes de 120 cm³ no los alcanzaron, lo que indica que estos últimos no son adecuados para este propósito.

Los contenidos medios de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantas, en los tres niveles de fertilizantes estudiados (F1, F2, F3), se muestran en las figuras 1, 2 y 3, respectivamente. Se observó que los niveles de los tres elementos aumentaron significativamente con las aplicaciones de fertilizantes, alcanzándose los mayores porcentajes de nitrógeno (2.27%), fósforo (0.24%) y potasio (2.53%) cuando se aplicó el fertilizante mezclado con el sustrato al inicio y en el tercer y quinto par de hojas en forma líquida, concentrado alrededor del tallo. Resultados similares informaron Martínez (2005) en Guatemala, al estudiar la aplicación de fertilizantes en el desarrollo de posturas de café en tubetes de 150 cm³.

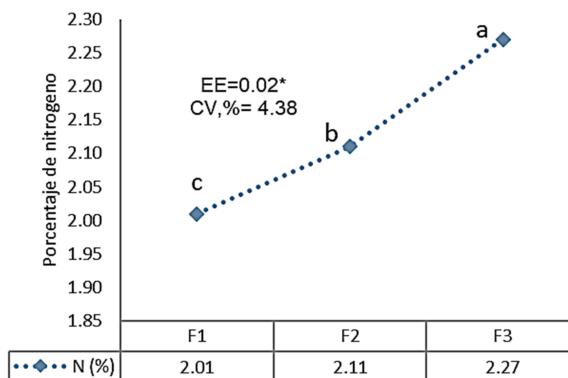


Figura 1. Contendio medios de nitrógeno en las plantas con diferentes niveles de fertilidad en el sustrato.

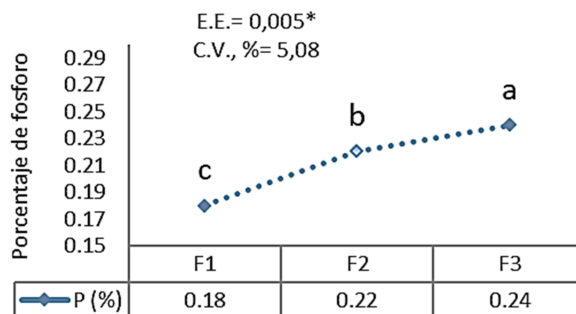


Figura 2. Contendio medios de fósforo en las plantas con diferentes niveles de fertilidad en el sustrato.

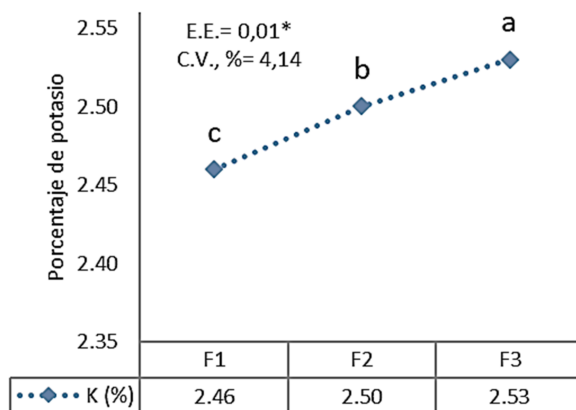


Figura 3. Contendio medios de Potasio en las plantas con diferentes niveles de fertilidad en el sustrato.

Durante la etapa de vivero, el fósforo y el nitrógeno son los elementos más importantes para garantizar un crecimiento óptimo de las plantas. El nitrógeno favorece un crecimiento vegetativo rápido y la formación de un área fotosintética adecuada, mientras que el fósforo promueve el desarrollo del sistema radical (Molina, 2000). Este período puede durar entre 5 y 8 meses, durante el cual se pueden realizar entre 3 y 4 aplicaciones de fertilizantes, en dependencia de la fertilidad del sustrato y del estado nutricional de las plantas (Espinosa, 1998).

Estos valores son similares a los informados por Sánchez (2001) en posturas micorrizadas que presentaron un desarrollo óptimo. El análisis de tejido vegetal, comúnmente denominado análisis foliar, permite determinar el contenido elemental de nutrientes en las plantas. Esta técnica se ha empleado para evaluar el estado nutricional de la planta y, de manera indirecta, el del suelo, ya que existe una relación directa y estrecha entre la aplicación de fertilizantes y el rendimiento del cultivo.

Los resultados obtenidos de estos análisis se utilizan para identificar síntomas de deficiencia de nutrientes, tal como lo señalan Rivera & Soto (2012a). No obstante, la principal

utilidad de los análisis foliares radica en determinar el nivel de fertilidad del sustrato y establecer las dosis de fertilizantes necesarias para cubrir los requerimientos del cultivo, según lo indicado por Espinosa (1998). De esta manera, se optimiza la nutrición vegetal y se garantiza un manejo adecuado de los recursos.

El fósforo es un elemento con baja movilidad en el suelo, y solo entre el 10% y el 30% del total aplicado es absorbido por las plantas durante el primer año. Esta limitación se debe a que el fósforo reacciona y forma diversos compuestos en función del pH del suelo, independientemente de si la fuente original es líquida o sólida (Espinosa, 1998). En el caso de los fosfatos sólidos, estos se disuelven y posteriormente reaccionan con los elementos y fracciones minerales presentes en la solución del suelo, mientras que los fertilizantes líquidos se aplican directamente en forma disuelta.

Estudios comparativos entre fuentes de fosfatos en forma líquida y sólida no han demostrado diferencias significativas en cuanto a su efectividad agronómica. Sin embargo, cuando el fertilizante fosfórico se aplica junto con nitrógeno, la disponibilidad del fósforo para las plantas aumenta notablemente en comparación con su aplicación en ausencia

de nitrógeno. La influencia del nitrógeno en la absorción del fósforo es particularmente evidente durante las primeras etapas de desarrollo de las plantas, que permitió alcanzar incrementos de hasta el 60% en cultivos como el maíz.

Este fenómeno explica los efectos positivos observados al aplicar una fórmula completa de fertilizante rica en fósforo y nitrógeno durante el desarrollo de las posturas. Por otro lado, se ha documentado que el potasio es el elemento menos requerido durante esta fase del desarrollo del café (Rivera et al., 2003).

Influencia de proporciones de cascarilla de arroz carbonizada (CAC), fibra de coco y dosis de Multicote™ en el desarrollo de posturas de café en tubetes

Al analizar el efecto de los tratamientos en el desarrollo de las posturas durante las tres campañas de vivero, se observó que los mayores valores absolutos en altura, diámetro del tallo, masa seca total y área foliar se alcanzaron con el sustrato compuesto por 50% CAC + 50% de suelo + 2 g de Multicote™. Este tratamiento no mostró diferencias significativas en altura, diámetro del tallo y área foliar con respecto al tratamiento 50% CAC + 50% de suelo + 3 g de Multicote™. Sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas con los demás tratamientos evaluados para estas variables.

En todas las proporciones estudiadas, los valores más bajos en altura, diámetro del tallo, masa seca total y área foliar se obtuvieron cuando no se aplicó Multicote™. Esto indica que los sustratos utilizados, por sí solos, no proporcionaron los nutrientes necesarios para el desarrollo óptimo de las posturas en ninguna proporción de suelo-CAC. Al aplicar 1 g de Multicote™ por tubete en cualquier proporción, se observó un aumento en el desarrollo de las posturas en comparación con los tratamientos sin fertilizante. Estos resultados coinciden con los informados por Blandón (2008), quien encontró los valores más bajos en posturas de café cuando no se aplicó fertilizante de liberación lenta Osmocote®, en comparación con los tratamientos que sí lo recibieron.

Moraes et al. (2007) estudió diferentes sustratos y dosis de fertilizantes de liberación lenta o controlada (Osmocote®) y determinó que el sustrato por sí solo no es capaz de suministrar los nutrientes necesarios para el desarrollo completo de las posturas. Por ello, fue necesaria la aplicación de fertilizante, con el que se logró el mayor desarrollo de las plántulas con una dosis de 13.06 kg de Osmocote® por m³ de sustrato. Barbosa et al. (2018) también observaron que los fertilizantes de liberación lenta mejoraron el crecimiento de las plántulas de café, independientemente del cultivar estudiado. Concluyeron que este efecto podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes minerales durante la etapa de crecimiento de las posturas.

Las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 muestran las regresiones polinómicas entre el área foliar y las dosis crecientes

de fertilizante de liberación lenta (Multicote™) en las proporciones suelo-CAC estudiadas. Se destaca que existe una alta correlación y un mejor ajuste de los datos a la función cuadrática en las cinco proporciones evaluadas. Este análisis confirma la relación directa entre la dosis de fertilizante y el desarrollo del área foliar en las posturas.

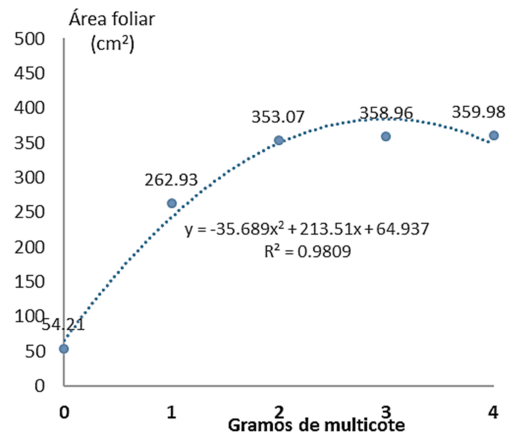


Figura 4. Regresión entre el área foliar en el 100% de CAC y dosis del Multicote™.

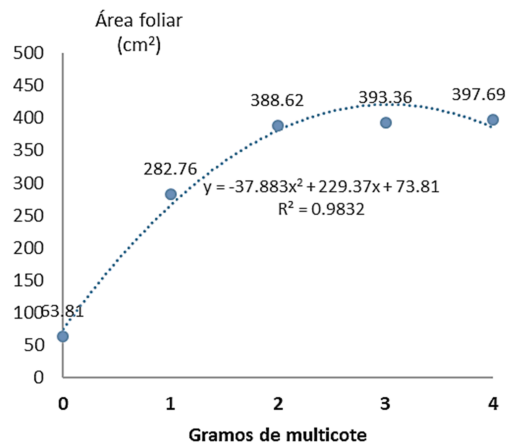


Figura 5. Regresión entre el área foliar en el 75% de CAC-suelo y dosis del Multicote™.

Se constató que en las proporciones donde predominó la CAC (100% y 75%) y el suelo, el área foliar mostró una respuesta creciente con el aumento de las dosis de Multicote™ hasta alcanzar los tres gramos (Figuras 4, 5, 6, 7 y 8). Sin embargo, no se observaron efectos significativos a partir de los 2 gramos. Por otro lado, cuando el sustrato estuvo compuesto por 50% y 25% de CAC, este efecto se mantuvo hasta los 2 gramos de Multicote™ por tubete, con incrementos más pronunciados en la proporción de 50% de suelo - CAC. Estos resultados sugieren que el sustrato con 50% de suelo - CAC presentó las mejores características para el desarrollo de las posturas de café.

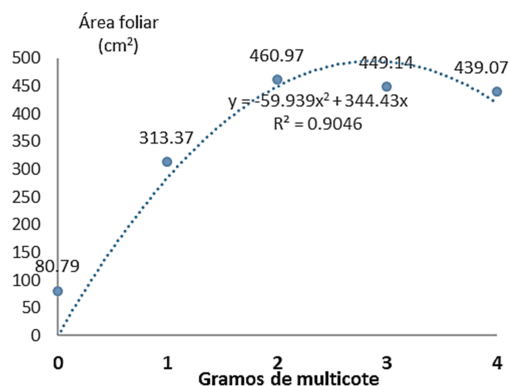


Figura 6. Regresión entre el área foliar en el 50% de CAC-suelo y dosis del Multicote™.

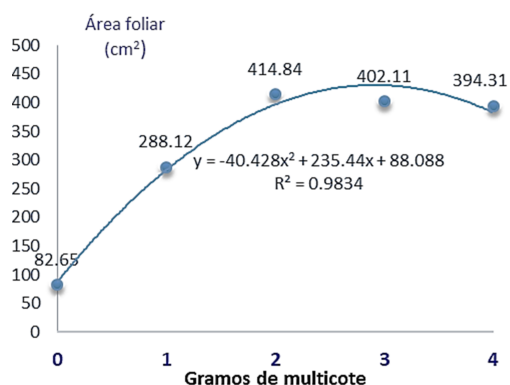


Figura 7. Regresión entre el área foliar en el 25% de CAC-suelo y dosis del Multicote™.

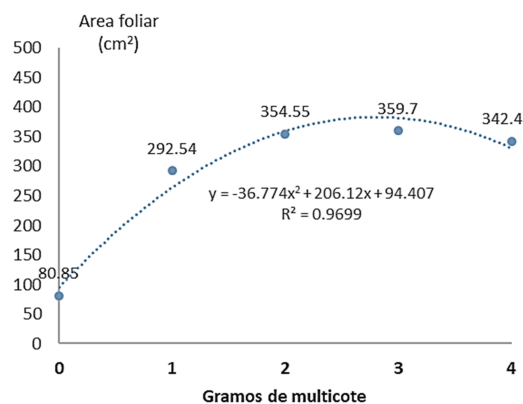


Figura 8. Regresión entre el área foliar en el suelo sin CAC y dosis del Multicote™.

Vallone (2003) estudió cinco proporciones de CAC en el sustrato (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) y determinó que el mayor desarrollo de posturas de café se logró al utilizar la cáscara de arroz carbonizada en una mezcla entre el 60% y 70%. Este hallazgo respalda la importancia de la composición del sustrato en el crecimiento óptimo de las plantas.

Al analizar el efecto del porcentaje de fibra de coco y las dosis de Multicote™ en el desarrollo de las posturas durante la campaña 2017-2018, se observó que los mayores valores en altura, diámetro del tallo, masa seca total y área foliar se alcanzaron con el sustrato compuesto por 50% de fibra de coco + 50% de suelo + 2 g de Multicote™. Este tratamiento no mostró diferencias significativas en altura, diámetro del tallo y área foliar en comparación con el tratamiento de 50% CAC + 50% de suelo + 3 g de Multicote™. Sin embargo, sí se registraron diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos evaluados para estas variables.

Influencia de diferentes dosis de Multicote™ en el desarrollo de posturas de café en tubetes

La aplicación de Multicote™ influyó positivamente en el desarrollo de las posturas de café producidas en tubetes en las tres repeticiones del experimento. Con excepción del diámetro del tallo y el índice de calidad en el primer año experimental, todas las variables de crecimiento mostraron valores significativamente superiores en comparación con el tratamiento sin aplicación del fertilizante. Esto demuestra la necesidad de suplementos nutricionales para un desarrollo adecuado de las posturas en tubetes, un hallazgo que coincide con lo informado por Müller et al. (1997).

En la primera fecha de evaluación, la dosis de 1 g de Multicote™ por tubete generó valores de altura, área foliar, masa seca del tallo, raíces y masa seca total superiores o similares estadísticamente a los mayores indicadores evaluados. Esta dosis incrementó la altura de las posturas en un 29 %, el área foliar en un 17 % y la masa seca total en un 19 % en comparación con el tratamiento sin fertilizante de lenta liberación. Por otro lado, dosis de Multicote™ superiores a 1 g redujeron el índice de calidad, la masa seca del tallo, la masa seca de la raíz y la masa seca total de las posturas.

En el segundo montaje, las posturas que recibieron 2 g de Multicote™ por tubete alcanzaron los mayores valores absolutos de índice de calidad, área foliar, masa seca del tallo, masa seca de la raíz y masa seca total. Sin embargo, estos valores no mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto a los obtenidos con 1 g de Multicote™ por tubete. La aplicación de 1 g de fertilizante aumentó la altura en un 32 %, el diámetro del tallo en un 25 %, el índice de calidad en un 45 %, el área foliar en un 44 % y la masa seca total en un 31 % en comparación con el testigo. Dosis superiores a 2 g redujeron la altura, el diámetro del tallo, el índice de calidad, la masa seca del tallo y la masa seca total de las posturas.

En el tercer año, el efecto de la dosis de 2 g de Multicote™ por tubete fue evidente y estadísticamente superior a los valores alcanzados con 1 g por tubete en términos de altura, índice de calidad, masa seca del tallo, masa seca de la raíz y masa seca total. Los incrementos respecto al testigo fueron del 26 %, 25 %, 22 %, 32 % y 15 %, respectivamente. Los mayores

valores de área foliar y masa seca de las hojas se obtuvieron con 3 g por tubete, los cuales superaron al testigo en un 71 % y un 26 %, respectivamente.

Investigaciones realizadas en Brasil por Marana et al. (2008) establecieron que una relación altura/diámetro de 3.5 a 4.0 es razonable para cafetos cultivados en tubetes de 120 mL de capacidad. Valores más altos indican un crecimiento excesivo de la plántula en altura. En las condiciones experimentales, la regresión entre las dosis de Multicote™ y la relación altura/diámetro mostró un mejor ajuste a la función cuadrática, con un máximo en la dosis de 3.1 g de fertilizante de lenta liberación por tubete y un valor de 4.88 (Figura 9). Este valor supera los informados en Brasil y podría servir como indicador para las condiciones de producción en Cuba.

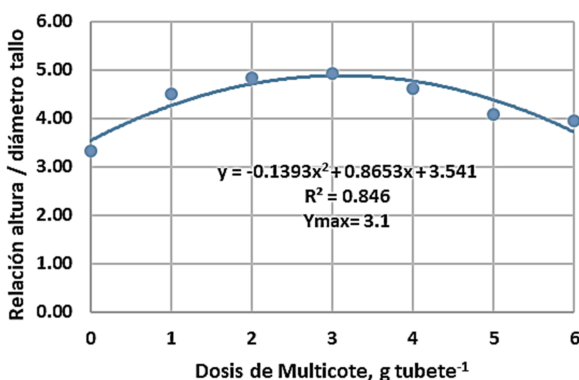


Figura 9. Efecto de las dosis de Multicote™ en la relación altura/diámetro del tallo de posturas de *Coffea arabica* L producidas en tubetes.

El razonamiento anterior podría estar relacionado con un mayor crecimiento de los cafetos en los tubetes de mayor capacidad utilizados en el experimento. Vallone et al. (2010) concluyeron que la restricción radicular, impuesta por el volumen reducido de los recipientes, disminuyó indicadores importantes de calidad de las posturas, como la altura, el área foliar y la biomasa. Por su parte, Espindula et al. (2015), al estudiar cinco dimensiones de tubetes, informaron que todas las características vegetativas de las posturas fueron influenciadas por el volumen de los tubetes, y que el aumento del mismo promovió el incremento de las características vegetativas de las posturas de *Coffea canephora*.

En todos los años experimentales se observó una tendencia al efecto depresivo de las dosis superiores a 3 g por tubete de FLC en las diferentes variables. En ocasiones, incluso se registraron valores inferiores al tratamiento testigo, lo que podría estar relacionado con el cambio de las propiedades químicas del sustrato provocadas por esas altas dosis y la fertilidad inicial del sustrato. Al comparar los índices de

crecimiento de las posturas de café del último montaje con los establecidos por Marana et al. (2008) para el sustrato Plantmax, se observó que los obtenidos en esta investigación resultaron superiores, lo que valida la pertinencia del sustrato nacional para estas condiciones de producción de las posturas.

Esta situación podría estar relacionada con los resultados de Tavares Júnior (2004), citado por Dias & Melo (2009), quienes encontraron que el número de pares de hojas varía en función del volumen y la granulometría del sustrato. Además, señalaron que cuanto mayor sea el recipiente, mayor será el número de pares de hojas y, por ende, el área foliar.

El área foliar es importante en la mayoría de los estudios agrícolas y fisiológicos involucrados en el crecimiento vegetal, la captación de luz, la eficiencia fotosintética, la respiración, la transpiración y la respuesta al riego y a la fertilización (Casierra-Posada et al., 2008). Por otro lado, la biomasa refleja las condiciones del sitio y de los recursos edáficos, hídricos y de radiación solar disponibles en el mismo (Dobbs et al., 2011). El contenido de masa seca es un indicador del incremento en la producción, gastos y biosíntesis de carbohidratos. Marana et al. (2008) y Serrano et al. (2012) prefieren esta última variable, ya que otras comúnmente utilizadas, como la altura y el diámetro del tallo, pueden ser influenciadas por distorsiones derivadas de la estilización debida por la competencia por la luz o por exceso de nitrógeno.

Para el área foliar y la masa seca se observó una respuesta cuadrática a las dosis de Multicote™. Los valores superiores de área foliar se registraron con dosis de FLC que oscilaron entre 1,47 g y 3,57 g, en dependencia del año experimental, mientras que para la masa seca estos oscilaron entre 2,53 g y 2,84 g. Este rango de respuesta puede estar relacionado con varias causas. Una de ellas puede ser el bajo coeficiente de determinación observado, que puede tener su origen en la dispersión de los datos, situación también observada en las investigaciones de Marana et al. (2008). Otra causa podría ser la diferente fertilidad del sustrato en los años experimentales.

También se evidenció que para la producción de posturas de cafetos en tubetes utilizando como sustrato el suelo Pardo sialítico/estiércol vacuno en proporción 1:1, la dosis de Multicote™ a adicionar por tubete puede oscilar entre 2 y 3 g (0,06-0,12 g P₂O₅), lo que equivale a 11 y 16,5 kg de Multicote™ por metro cúbico de sustrato. Estas dosis deben garantizar un adecuado suministro de nutrientes en el sustrato durante la permanencia en el vivero.

Los resultados son similares a los alcanzados en Brasil por Marana et al. (2008), quienes informaron como la más adecuada la dosis de 10 kg de fertilizante de liberación lenta 15-9-12 por m³, que representan 0,06 g de P₂O₅ por tubete de 120 mL. Por su parte, Dias & Melo (2009) adicionaron el equivalente a 0,09 g P₂O₅, la misma cantidad que aplicaron Pozza et al. (2000) por tubete de similar volumen.

Influencia del momento de aplicación de Multicote™ en el crecimiento del café en tubetes

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en los factores estudiados y en su interacción. Para el factor año, los valores más altos se registraron en el tercer año experimental, con diferencias significativas en todas las variables, excepto en el diámetro del tallo. En el primer año, la altura disminuyó un 20 % en comparación con el tercer año, mientras que las reducciones fueron del 20 % para la masa seca de las hojas, 30 % para la masa seca total, 40 % para la masa seca de la raíz y el área foliar, y 50 % para la masa seca del tallo.

Este comportamiento podría estar asociado a las variaciones de temperatura durante los períodos analizados. En el primer experimento, la temperatura media fue de 24,6 °C. En el segundo período experimental (Multicote™ II), la temperatura media ascendió a 27,9 °C, y solo se observó una disminución del 20 % en el área foliar, la masa seca del tallo y la raíz. El índice de calidad y la masa seca total disminuyeron un 10 %.

En cuanto al factor momento, la aplicación de Multicote™ durante la mezcla para el llenado de los tubetes mostró resultados estadísticamente superiores en todas las variables, excepto en el área foliar y la altura, donde fue similar a la aplicación en el segundo par de hojas. La adición del fertilizante en la mezcla incrementó la altura en un 17 %, el diámetro del tallo en un 14 %, el índice de calidad en un 31 %, el área foliar en un 11 % y la masa seca en un 34 %, en comparación con la aplicación al momento de plantar. Sin embargo, estos incrementos fueron menores que los observados al aplicar Multicote™ en el primer par de hojas, donde la altura aumentó un 2 %, el diámetro del tallo un 11 %, el índice de calidad un 39 % y la masa seca un 24 %.

El efecto de Multicote™ en la masa seca de las posturas fue más notable en la raíz, seguido del tallo y finalmente en las hojas, independientemente del momento de aplicación. El análisis de la interacción de los factores confirmó la tendencia observada al evaluar los factores por separado. En el tercer año, la aplicación de Multicote™ en la mezcla generó los valores más altos y significativos en altura, diámetro del tallo, índice de calidad y masa seca de las posturas.

La respuesta de las variables mostró inconsistencia en los tres montajes. En el tercer año, la aplicación del fertilizante al alcanzar el segundo par de hojas superó en un 40 % a la aplicación en la mezcla. No obstante, en el primer año, el área foliar fue un 26 % mayor al aplicar el fertilizante en la mezcla que al aplicarlo en el segundo par de hojas. En el segundo montaje, no se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos.

La respuesta de las posturas al momento de aplicación de Multicote™ podría relacionarse con la fertilidad del sustrato, la liberación del fertilizante y el período de montaje

del experimento. La tasa de liberación del fertilizante aumenta a partir de los 30 °C (Figura 10). En el primer período experimental, la temperatura media (24,6 °C) fue inferior a los 30 °C, lo que, junto con el menor tiempo experimental, explicaría los valores reducidos de crecimiento de las posturas.

El segundo período duró dos meses más que el anterior y registró las temperaturas más altas. La temperatura media se acercó a los 30 °C, lo que favoreció una mayor liberación de nutrientes del fertilizante, ya que el experimento se desarrolló durante el verano en esas latitudes. En el tercer montaje, las posturas se expusieron al invierno y parte del verano, con temperaturas cercanas a las óptimas para la liberación de nutrientes. Esto permitió una absorción más eficiente por parte de las posturas (Figura 10), ya que el tiempo de interacción del fertilizante con el ambiente aumentó, lo que facilitó una liberación más gradual.

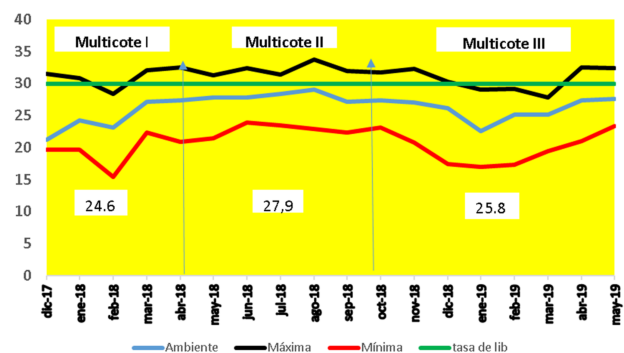


Figura 10. Variación de la temperatura durante el período experimental y su relación con la temperatura de liberación de nutrientes.

Desde el punto de vista práctico, la aplicación del fertilizante de liberación controlada durante la elaboración del sustrato garantiza una distribución más homogénea del nutriente. Este método evita los inconvenientes asociados con la aplicación del fertilizante al momento de la siembra, como la reducción en la productividad del personal debido a la incorporación de una actividad adicional en el proceso. Además, se minimiza el riesgo de dañar las posturas al evitar que el fertilizante se acerque demasiado a ellas, lo que podría causar quemaduras.

Por otro lado, la aplicación del fertilizante en la etapa del segundo par de hojas presenta desventajas significativas. Este enfoque también reduce la productividad del personal, ya que requiere un mayor esfuerzo para asegurar la correcta localización del fertilizante. En esta fase, las posturas tienen un área foliar más extensa, lo que obliga a apartar las hojas para ubicar el fertilizante de manera adecuada, lo que dificulta aún más el proceso.

CONCLUSIONES

1. Los mayores valores morfológicos en las posturas de café se alcanzaron en tubetes con capacidades de 180 cm³ y 220 cm³. En ausencia de fertilizantes de liberación controlada, fue necesario realizar tres aplicaciones de fertilizante: al inicio (mezclado con el sustrato), en el tercer par de hojas y en el quinto par de hojas. Estos tratamientos no mostraron diferencias significativas respecto al testigo producido en bolsas.
2. Bajo las condiciones estudiadas, no se recomienda el uso de tubetes con capacidad de 120 cm³ para la producción de posturas de café, debido a su limitado rendimiento.
3. Se observó una interacción altamente significativa entre las dosis de Multicote™ y las proporciones de suelo-cascarilla de arroz carbonizada (CAC). Los mejores resultados se obtuvieron con una mezcla de 50% de cascarilla de arroz + 50% de suelo Pardo Gleyzoso + 2 g de Multicote™. Este tratamiento no mostró diferencias significativas en altura, diámetro del tallo, número de pares de hojas y área foliar en comparación con el tratamiento que incluyó 50% CAC + 50% de suelo + 3 g de Multicote™.
4. Se demostró que la aplicación de Multicote™ incrementó las variables de desarrollo evaluadas en dosis que oscilaron entre 2 y 3 g por tubete, en dependencia del año experimental y el tipo de suelo. Dosis superiores a estas redujeron algunas variables de crecimiento, incluso obteniendo valores inferiores al tratamiento sin fertilizante.
5. La aplicación de Multicote™ al momento de conformar el sustrato permitió obtener posturas de mayor calidad y con mejores variables de crecimiento, lo que sugiere su efectividad en la optimización del proceso productivo.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar tubetes con capacidad de 180 cm³, ya que requieren un menor volumen de sustrato en comparación con los de 220 cm³. En caso de no disponer de fertilizantes de liberación controlada, se recomienda realizar tres aplicaciones de fertilizante: al inicio (mezclado con el sustrato), en el tercer par de hojas y en el quinto par de hojas.
2. Cuando se disponga de Multicote™, se recomienda aplicar una dosis de 2 g por tubete al momento de conformar el sustrato, utilizando las proporciones recomendadas de suelo y cascarilla de arroz carbonizada (CAC). Esta práctica optimiza el crecimiento y la calidad de las posturas.
3. Evitar el uso de dosis superiores a 3 g de Multicote™ por tubete, ya que pueden tener un efecto negativo en el crecimiento de las posturas, incluso se redujo su desarrollo en comparación con tratamientos sin fertilizante.

4. Priorizar la aplicación de Multicote™ en la etapa inicial de conformación del sustrato, ya que esta práctica demostró ser eficaz para mejorar la calidad y el desarrollo de las posturas de café.

BIBLIOGRAFIA

- Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., & Robledo, C. W. (2008). *Infostat. Manual del usuario* (Primera). Editorial Brujas Argentina.
- Barbosa, P. O., De Rezende, Anna, L., Avila, R. G., & Nascimento, C. (2018). Crecimiento de mudas de cafeeiro em tubetes com fertilizante de liberação lenta. *Revista Agrogeambiental*, 10(1), Article 1.
- Blandón, J. L. (2008). *Producción de almácigos de café en tubetes en tres sustratos y tres tipos de fertilización* [PhD Thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/849/1/T2552.pdf>
- Cabana, Y. (2013). *Influencia del Tipo de tubete y momento de fertilización sobre la producción de posturas de café* [Trabajo de Diploma para optar por el título de ingeniero agrónomo]. Facultad Agropecuaria de Montaña del Escambray. Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez.
- Calderón, F. (2001). Qué son los cultivos hidropónicos y el por qué de la hidroponía. *Primer Curso de Hidroponía para la Floricultura*, 1-20.
- Casierra-Posada, F., Peña, G. R., & Peña-Olmos, J. E. (2008). Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) LH Bailey y *Ficus carica* L. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1), 95-102.
- Cochran, W. G., & Cox, G. M. (1990). Diseños experimentales. *Ed. Trillas, SA de CV México*, 132-135.
- Cordón, L. (2019). *Monitoreo de la calidad de almácigo de café - 2018, Región III - Guatemala, Escuintla, Sacatepéquez, Chimaltenango y El Progreso* (p. 13) [Edición y diagramación, Unidad de Comunicación -Anacafé-]. Centro de Investigaciones en Café de Anacafé - Cedicafé. [https://www.anacafe.org/uploads/file/66e0fea973d443f68b3db3e6ae2d435a/Bol etin-CEDICAFE-RIII-06-2019.pdf](https://www.anacafe.org/uploads/file/66e0fea973d443f68b3db3e6ae2d435a/Bol_etin-CEDICAFE-RIII-06-2019.pdf)
- Costa, A. (2000). Mudas em tubetes: Novos componentes e misturas. *Informativo da Cooperativa dos Cafeicultores da Região de Garça, Ano, 5*(51), 14-15.
- Costa, A. C., Decarlos Neto, A., Ramos, J. D., & Borges, D. I. (2011). Alternativas para adubação de porta-enxertos de abacateiro'quintal'e seu efeito no pegamento de enxertia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(4), 1283-1293.
- Dias, R., & Melo, B. de. (2009). Proporção de material orgânico no substrato artificial para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. *Ciência e agrotecnologia*, 33(1), 144-152.

- Díaz, W., Caro, P., Bustamante, C., Sánchez, C., Rodríguez, M., & Vázquez, E. (2013). *Instructivo Técnico Café Árabe (Coffea arabica Lin)*. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales: Ministerio de la Agricultura. Dirección de Café y Cacao del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña. Instituto de Investigaciones Agro-Forestales.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). QUALITY APPRAISAL OF WHITE SPRUCE AND WHITE PINE SEEDLING STOCK IN NURSERIES. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dobbs, C., Hernández, J., & Escobedo, F. (2011). Ecuaciones de biomasa aérea y área foliar basadas en métodos no destructivos para árboles urbanos de dos comunas de Chile Central. *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 287-296.
- Espindula, M. C., Jaraceski, R., Teixeira, A. L., Campanharo, M., & Dias, J. R. M. (2015). *Volume de tubetes para produção de mudas clonais de Coffea canephora 'Conilon-BRS Ouro Preto'*. 6. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3589>
- Espinosa, J. (1998). Análisis foliar: Fundamentos y métodos de evaluación. En *Informaciones agronómica (33)* (p. 15). Instituto de la Potasa y el Fosforo. A.S. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122633/records/647246ad53aa8c8963048005>
- FAO. (2015). *WRB-World Reference Base for Soil Resources. Classification Key. FAO AGL*. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrbnewkey.stm>
- González, D. O. (2001). *Comparación entre la bolsa y el " conomacetero" o " tubete" en la producción de plantas de café* [PhD Thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1366/1/CPA-2001-T043.pdf>
- Haifa Group Multicote™ Agri. (2014). *Manual de Fertilizantes de liberación controlada para la agricultura*. Haifa Chemicals Ltd.
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificación de los Suelos de Cuba*. INCA.
- Irigoyen, J. N. (1997). *Pasos para la producción apropiada de viveros de café* (p. 4). PROCAFE.
- Irigoyen, N. J. (2000). *Guía para la producción de vivero de café*. Agenda cafetalera. PROCAFE. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7655>
- Klooster, W. S., Cregg, B. M., Fernandez, R. T., & Nzokou, P. (2012). Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 135, 71-79.
- Marana, J. P., Miglioranza, É., Fonseca, É. de P., & Kainuma, R. H. (2008). Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, 38(1), 39-45.
- Martínez, A. R. (2005). *Evaluación de diferentes sustratos, empleando la técnica de tubete para producir plántulas de café (Coffea arabica L.) var. Catuai, en etapa de vivero, finca Monte Maria, San Juan Alotenango, Sacatepéquez* [Ingeniero Agrónomo Tesis de Grado]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Melo, B. de. (1999). *Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) em tubetes* [Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras]. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/357>
- Mendonça, V., Abreu, N. A. A. de, Souza, H. A. de, Teixeira, G. A., Hafle, O. M., & Ramos, J. D. (2008). Diferentes ambientes e Osmocote® na produção de mudas de tamarindeiro (Tamarindus indica). *Ciência e agrotecnologia*, 32(2), 391-397.
- Molina, E. (2000). *Nutrición y fertilización del pejibaye para palmito* (Informaciones Agronómicas. Educación No. 38; Número 38, p. 15). Instituto de la Potasa y el Fósforo INPOFOS. https://www.researchgate.net/profile/Eloy-Molina/publication/242647996_NUTRICION_Y_FERTILIZACION_DEL_PEJIBAYE_PARA_PALMITO/links/0f31752d7eaa31422c000000/NUTRICION-Y-FERTILIZACION-DEL-PEJIBAYE-PARA-PALMITO.pdf
- Moraes, S., Guimarães, R. J., & Carvalho, J. G. de. (2007). *Estudo de doses do adubo de liberação lenta (osmocote) em mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) produzidas em tubetes*. Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2371>
- Müller, M. M. L., Miglioranza, E., & Fonseca, E. de P. (1997). Produção de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) cv. Mundo Novo em tubetes. *Revista Unimar*, 19(3), 777-786.
- NC 52. (1999). *Norma cubana 52: Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio*. (p. 12). Comité Técnico de Normalización No 3.
- NC 65. (2000). *Norma cubana 65: Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes del suelo*. (p. 10). Comité Técnico de Normalización No 3.
- NC ISO 10390. (1999). *Norma cubana ISO 10390: Calidad del suelo. Determinación del pH*. (p. 11). Comité Técnico de Normalización No 3.
- Neto, A. A., Mendez, A. N. G., & GUIMARÃES, P. T. G. (1999). Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) em tubetes. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 23(2), 270-280.
- NRAG 279. (1980). *Norma Ramal de la Agricultura 279-80. Suelos. Análisis químico. Reglas generales*. (p. 54). MINAG.
- Oliveira, L. L., Toledo, D. C., Rezende, T. T., Carvalho, S. P. de, Bueno Filho, J. S. de S., Livramento, D. E. do, Baliza, D. P., & Maia, D. R. B. (2013). *Efeito de sacarose e de fertilizante de liberação lenta no sistema radicular de mudas obtidas por estacas caulinares de Coffea arabica lefeito de sacarose e de fertilizante de liberação lenta no*

- sistema radicular de mudas obtidas por estacas caulinares de *Coffea arabica* L. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Salvador - BA. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3716>
- Palacios, G. (2008). Fertilizante Osmocote. *San Pedro Sula*, 1-12.
- Pozza, A. A. A., Guimarães, P. T. G., Pozza, E. A., Romaniello, M. M., & Martins, M. F. (2000). *Suprimento do fertilizante de liberação lenta na produção de mudas de cafeeiro em tubetes*. 4. <http://sbicafe.ufv.br/handle/123456789/764>
- Ríos, C., Muñoz, P., Zaldivar, M., & Rukis, T. (1982). Métodos para realizar el análisis zootécnico de los alimentos en los laboratorios agroquímicos, Estación Experimental «Escambray». *Instituto de investigaciones de Suelo y Agroquímica. Ministerio de la Agricultura CIDA*, 1-33.
- Rivera, R., Fernández, F., & Hernández, A. (2003). *El manejo efectivo de la simbiosis micorrizica, una via hacia la agricultura sostenible, estudio de caso*. El Caribe.
- Rivera, R., & Soto, F. (2012a). *El Cultivo del café en Cuba. Investigaciones y resultados*.
- Rivera, R., & Soto, F. (2012b). *El Cultivo del café en Cuba. Investigaciones y resultados*.
- Saboya, J. G. (2010). *Análisis técnico y económico en la producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (Swietenia macrophylla king) en cámara de sub-irrigación, Pucallpa-Perú* [Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal, Facultad de ciencias forestales y ambientales. Universidad Nacional de UCAYALI]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_fec35c9bd51ff12a78b77961a9184334
- Sánchez, C. (2001). *Uso y manejo de los hongos micorrizógenos arbusculares y los abonos verdes en la producción de posturas de caféto (Coffea arabica L) en tres tipos de suelos representativos del macizo Guamuhaya* [PhD Thesis]. Tesis presentada para optar por el grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas.
- Sánchez, C., Caballero, D., Cupull, R., González, C., Rivera, R., & Urquiaga, S. (2009). Los abonos verdes y la inoculación micorrizica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos Cambisoles Gléyicos. *Cultivos Tropicales*, 30(1), Article 1.
- Sánchez, C., Caballero, D., Rivera, R., & Cupull, R. (2006). Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de caféto (Parte I). Suelo Pardo Gleyzoso. *Centro Agrícola*, 33(1), Article 1.
- Sánchez, C., Martínez-Suárez, F., Moran-Rodríguez, N., Cabana-Fuentes, Y., Meneses-Zamora, I., Vicet-González, E., & Ortiz-Gómez, N. (2018). Influencia de tres tipos de tubetes y diferentes momentos de fertilización en el desarrollo de posturas de café. *Café Cacao*, 17(1), Article 1.
- Serrano, L. A. L., Marinato, F. A., Magiero, M., & Sturm, G. M. (2012). Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. *Revista Ceres*, 59(4), 512-517.
- Soto, F. (1980). ESTIMACION DEL AREA FOLIAR EN *C. arabica* L. A PARTIR DE LAS MEDIDAS LINEALES DE LAS HOJAS. *Cultivos tropicales*, 2(3), Article 3.
- Teixeira, P. C., Rodrigues, H. S., Lima, W. A. A., Rocha, R. N. C., Cunha, R. N. V., & Lopes, R. (2009). Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Ciência Florestal*, 19(2), 157-168.
- Trujillo, E. (2012). *Aspectos económicos y financieros en plantaciones forestales*. 24.
- Vallone, H. S. (2003). *Produção de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.) em tubetes com polímero hidrorretentor; diferentes substratos e adubações*. UFLA. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4241>
- Vallone, H. S., Guimarães, R. J., Mendes, A. N. G., Souza, C. A. S., Cunha, R. L. da, & Dias, F. P. (2010). Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(1), 55-60.