



LA
UNIVERSIDAD
QUE SIEMBRA

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL

DE LOS LLANOS OCCIDENTALES

“EZEQUIEL ZAMORA”

VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR

SUB-PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA

SUB-PROYECTO APLICACIÓN DE CONOCIMIENTOS II



**EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA BOLSA Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO
Y FÓSFORO EN PLÁNTULAS DE CAFÉ EN FASE DE VIVERO**

Autor:

Cristancho R. Manuel A. C.I.: 24.616.220

Tutor: Carmen G. Giménez M.

Guanare, Abril 2020.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	PP
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
JUSTIFICACION.....	3
ANTECEDENTES.....	5
Objetivos de la investigación.....	7
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Capítulo I. Marco Teórico.	
1. Revisión bibliográfica.....	9
1.1 Café.....	9
1.1.1 Origen.....	9
1.1.2 Descripción taxonómica.....	9
1.1.3 Requerimientos Edafoclimáticos.....	9
1.1.3.1 Temperatura.....	10
1.1.3.2 Humedad.....	10
1.1.3.3 Altura.....	10
1.1.3.4 Suelo.....	10
1.1.3.5 pH.....	10
1.1.3.6 Precipitación.....	10
1.1.4 Germinación.....	10
1.2 Sustrato.....	11
1.3.1 Tipos de sustratos.....	11
1.3.1.1 Según sus propiedades.....	12
1.3.1.2 Según el origen de los materiales.....	13
Capítulo II. Materiales y Métodos.	
2.1 Área de estudio.....	14
2.2 Materiales y equipos.....	14
2.3 Selección de semillas.....	14
2.4 Diseño de la investigación.....	14
2.5 Labores Agronómicas.....	
2.5.1 Siembra.....	14
2. Parámetros o variables a evaluar.....	14
2.6.1 Altura de la plántula.....	14
2.6.2 Diámetro de tallo.....	15
2.6.3 Longitud de la raíz principal.....	15

Capitulo III. Resultados y Discusión.	
3.1 Efectos de la fertilización.....	16
3.2 Efectos del tamaño de la bolsa.....	17
3.3 Análisis de regresión	19
CONCLUSION.....	21
BIBLIOGRAFÍA.....	22

INDICE DE TABLAS

TABLAS

1. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el crecimiento radical y aéreo de plantas de café en bolsas durante seis meses..... 16
2. Respuesta de la fertilización con nitrógeno y fósforo en índices morfológicos de plántulas de café cultivadas en bolsas durante seis meses..... 17
3. Comportamiento morfológico entre el tamaño de la bolsa de propagación en el crecimiento radical y aéreo de plantas de café Caturra de seis meses..... 18
4. Efecto del tamaño de la bolsa sobre índices morfológicos en plántulas de café Var. Caturra de seis meses de edad..... 19-20

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Yo Carmen Gimenez, cédula de identidad N°16.475.391, hago constar que he leído el Trabajo de Aplicación de Conocimiento II, titulado, **EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA BOLSA Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO EN PLÁNTULAS DE CAFÉ EN FASE DE VIVERO** presentado por el (la) ciudadano (a) **Manuel Cristancho** para optar al título de Ingeniero Agrónomo, acepto asesorar al estudiante, en calidad de tutor, durante el periodo de desarrollo del trabajo hasta su presentación y evaluación.

En la ciudad de Guanare, a los 15 días del mes de abril año 2020.



Nombre y Apellido:

Carmen Gimenez

CI: 16.475.391

Tutor



UNIVERSIDAD NACIONAL
EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
"EZEQUIEL ZAMORA"

ACTA DE VEREDICTO

El 19 de marzo de 2020, vía online debido a época de pandemia a través de la plataforma Google meet, se reunió el **jurado** integrado por los profesores: Yulimar Ramos C.I. **15.399.714** y María Andrade C.I. **17.048.618** el **tutor** Carmen Gimenez CI:16.475391 para evaluar el trabajo de **Aplicación de Conocimientos II** titulado **EFEECTO DEL TAMAÑO DE LA BOLSA Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO EN**

PLÁNTULAS DE CAFÉ EN FASE DE VIVERO como requisito parcial para optar por el grado académico de **Ingeniero Agrónomo**, del bachiller(es) **Manuel Cristancho** CI: 24616220, revisado el trabajo y discutido en su forma, se otorga la calificación de (3.40).

Dando fe y en constancia de lo aquí señalado firman:

Prof.
CI: 16.475.391
Tutor



Prof. Yulimar Ramos
CI: 15.399.714

Jurado Principal Interno

Prof.
María Andrade
CI:17.048.618
Jurado Principal Interno

EFFECTO DEL TAMAÑO DE LA BOLSA Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO EN PLÁNTULAS DE CAFÉ EN FASE DE VIVERO

EFFECT OF BAG SIZE AND FERTILIZATION WITH NITROGEN AND PHOSPHORUS IN COFFEE SEEDLINGS IN THE NURSERY PHASE

Autor:

Tutor: Carmen Gimenez M

Año: 2020

Resumen

Las plántulas de café sanas y vigorosas producidas en el vivero es la base para su supervivencia y adaptación en campo. En Venezuela, las plantaciones viejas para ser renovadas con variedades nuevas de alto rendimiento requieren una alta producción de plántulas de buena calidad, para lo cual se necesita conocer el tamaño más apropiado de las bolsas de propagación. En el Cacerio sector Quebrada de la Virgen, Estado Portuguesa, Venezuela, se evaluó la respuesta de plántulas de *Coffea arabica* L. 'Caturra' desarrolladas en tres tamaños de bolsa (13×15, 15×19 ó 18×23 cm) y tres dosis de fertilización (2, 4 y 6 g planta de fertilizante con 10% N y 50% P₂O₅). Como sustrato de propagación se usó suelo con alto contenido de materia orgánica, buena permeabilidad y fertilidad. El diseño de la investigación fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y 10 bolsas por unidad experimental. En las bolsas de mayor tamaño se obtuvo el mayor crecimiento radical y aéreo de las plántulas (longitud de raíz, altura de planta y biomasa seca). Las dosis de fertilización afectaron el nivel nutricional de la planta pero no su crecimiento, pues el sustrato proporcionó los nutrientes necesarios. Se concluye que las bolsas de mayor tamaño permiten el crecimiento sostenido de la planta durante los seis meses en el vivero y que pequeñas dosis del fertilizante pueden ser suficientes para llevar a las plántulas a buen término previo a su establecimiento en campo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, índices morfológicos, nutrición mineral, raíces, crecimiento.

EFFECT OF BAG SIZE AND FERTILIZATION WITH NITROGEN AND PHOSPHORUS IN COFFEE SEEDLINGS IN THE NURSERY PHASE

Autor:

Tutor: Carmen Gimenez M

Año: 2020

ABSTRACT

Healthy and vigorous coffee seedlings produced in the nursery is the basis for their survival and adaptation in the field. In Venezuela, old plantations to be renewed with new high-yield varieties require a high production of good quality seedlings, for which it is necessary to know the most appropriate size of the propagation bags. In the Cacerio sector Quebrada de la Virgen, Portuguesa State, Venezuela, the response of *Coffea arabica* L. 'Caturra' seedlings developed in three bag sizes (13 × 15, 15 × 19 or 18 × 23 cm) and three fertilization dose (2, 4 and 6 g fertilizer plant with 10% N and 50% P₂O₅). Soil with a high content of organic matter, good permeability and fertility was used as the propagation substrate. The research design was randomized complete blocks with four repetitions and 10 bags per experimental unit. In the larger bags, the highest root and aerial growth of the seedlings was obtained (root length, plant height and dry biomass). The fertilization doses affected the nutritional level of the plant but not its growth, since the substrate provided the necessary nutrients. It is concluded that the larger bags allow the sustained growth of the plant during the six months in the nursery and that small doses of the fertilizer may be sufficient to bring the seedlings to fruition prior to their establishment in the field.

Keywords: *Coffea arabica*, morphological indices, mineral nutrition, roots, growth.

INTRODUCCIÓN

La apertura de nuevas áreas cafetaleras, así como la sustitución de plantaciones viejas con variedades de alto rendimiento requiere producir grandes volúmenes de plantas de buena calidad en vivero para establecer plantaciones sanas, vigorosas y por consiguiente, capaces de producir altos rendimientos (Camporeal, 2018). En Venezuela los caficultores prefieren comprar las plantas en viveros comerciales en lugar de producirlas, con el riesgo de que sean de baja calidad al no provenir de semilla seleccionada o de haberlas propagado en bolsas de tamaño inadecuado (Salazar 2016).

La utilización de bolsas de propagación en los almácigos de café permite producir plantas en menor tiempo, con mayor capacidad de soportar el estrés asociado con el trasplante en el campo y posibilita un uso más eficiente de los recursos involucrados en la producción, pues el viverista puede modificar el ambiente en el que se desarrolla la plántula mediante la aplicación de fertilizante y el uso de bolsas de diferentes tamaños, lo cual influye en la morfología y fisiología de la planta (Birchler, Rowse, Royo, y Pardos 1998). En el vivero las dosis más frecuentes de fertilizantes varían de 0.48 a 0.60 g de N y K₂O, y de 0.60 a 0.96 g de P₂O₅ por bolsa (Arizalet, 2019). En campo la respuesta predominante de la planta es al nitrógeno y potasio (Camporeal, 2018), y en vivero, al nitrógeno y el fósforo (Malavolta, 2020).

En las bolsas de propagación más grandes, la capacidad de reserva de agua y nutrientes es mayor, y dentro de ciertos límites, hay mayor desarrollo de raíces pero los costos de producción aumentan.

Según Arizalet (2019), al sustituir bolsas de 13×15 cm por otras de 18×23 cm, se duplica su capacidad para contener el sustrato, pero el costo de los materiales y mano de obra aumenta en aproximadamente 46 dólares por cada millar de plantas en el vivero. Además, el tamaño de la bolsa depende de la duración de la planta en el vivero, que usualmente es seis meses en los países productores de Centro y Sur América, donde no hay una medida estándar pues las bolsas varían entre 11 y 20 cm de ancho por 17 y 30 cm de altura (1 a 3 L de capacidad) de acuerdo con los reportes de Cuba (Nogera 2019), Colombia (Salazar 2016) y Costa Rica (Rojas 2017). En Venezuela no se encontró información sobre el tamaño más apropiado de las bolsas para las condiciones de la caficultura local.

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del tamaño de la bolsa y niveles de fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el crecimiento de la plántula de caféto (*Coffea arabica* L.) en la etapa de vivero.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La apertura de nuevas áreas cafetaleras, así como la sustitución de plantaciones viejas con variedades de alto rendimiento requiere producir grandes volúmenes de plantas de buena calidad en vivero (almácigo) para establecer plantaciones sanas, vigorosas y por consiguiente, capaces de producir altos rendimientos (Carvajal 1984).

La utilización de bolsas de propagación en los almácigos de café permite producir plantas en menor tiempo, con mayor capacidad de soportar el estrés asociado con el trasplante en el campo y posibilita un uso más eficiente de los recursos involucrados en la producción, pues el viverista puede modificar el ambiente en el que se desarrolla la plántula mediante la aplicación de fertilizante y el uso de bolsas de diferentes tamaños, lo cual influye en la morfología y fisiología de la planta (Birchler et al., 1998). En el vivero las dosis más frecuentes de fertilizantes varían de 0.48 a 0.60 g de N y K₂O, y de 0.60 a 0.96 g de P₂O₅ por bolsa (Arizaleta et al., 2002). En campo la respuesta predominante de la planta es al nitrógeno y potasio (Carvajal 1984), y en vivero, al nitrógeno y el fósforo (Malavolta 2000).

En las bolsas de propagación más grandes, la capacidad de reserva de agua y nutrientes es mayor, y dentro de ciertos límites, hay mayor desarrollo de raíces pero los costos de producción aumentan. Según Arizaleta y Pire, al sustituir bolsas de 13×15 cm por otras de 18×23 cm, se duplica su capacidad para contener el sustrato, pero el costo de los materiales y mano de obra aumenta en aproximadamente 46 dólares por cada millar de plantas en el vivero.

Además, el tamaño de la bolsa depende de la duración de la planta en el vivero, que usualmente es seis meses en los países productores de Centro y Sur América, donde no hay una medida estándar pues las bolsas varían entre 11 y 20 cm de ancho por 17 y 30 cm de altura (1 a 3 L de capacidad) de acuerdo con los reportes de Cuba (Nápoles et al., 1989), Colombia (Salazar, 1996) y Costa Rica (Rojas 2004). En Venezuela no se encontró

información sobre el tamaño más apropiado de las bolsas para las condiciones de la caficultura local, razón por la cual se hace necesario el estudio de estas interrogantes.

JUSTIFICACIÓN

El café es uno de los productos primarios más valiosos, segundo después del petróleo como fuente de divisas para los países en desarrollo. El cultivo, procesamiento, comercio, transporte y comercialización del café proporciona empleo a millones de personas en todo el mundo. El café tiene importancia crucial para la economía de muchos países en desarrollo y para muchos de los países del mundo, las exportaciones de café representan una parte sustancial de sus ingresos en divisas, en algunos casos más del 80% (ICO, 2007).

Diversos estudios señalan, que para el manejo adecuado del cultivo se debe empezar desde el establecimiento en el vivero, ya que para la instalación al campo se debe garantizar plantas de buena arquitectura, vigorosas y libres de plagas y enfermedades (Castellón,*et al.*,2000).

El sector cafetalero venezolano tiene relevante importancia en los órdenes económico, social y ecológico. La importancia económica del cultivo y producción de café radica en su aporte de divisas al Estado y la generación de ingresos para las familias cafetaleras y otros actores de la cadena productiva como: transportistas, comerciantes, exportadores, industriales, obreros vinculados a los procesos productivos y de procesamiento, entre otros, que dependen de las contingencias de producción y precios del café, en el mercado nacional.

La importancia de la caficultura en el orden social se basa en la generación de empleo, directo e indirecto, para familias de productores; así como, para varias familias adicionales vinculadas a al cultivo, comercialización, industrialización, transporte y exportación.

Este estudio será un aporte a la investigación del cultivo y manejo del café en fase vivero debido a la escasa información existente, a su vez beneficiará a pequeños

productores, servirá a estudiantes de aplicación de conocimientos a nivel de pregrado, postgrado y doctorado.

ANTECEDENTES

De acuerdo a la experiencia de Ureña (2009), la bolsa más utilizada es la de polietileno color negro, perforada, cuyas dimensiones pueden variar de 15 x 20, 17.5 x 20, 20 x 22.5 y 20 x 25.4 centímetros respectivamente. La decisión sobre el tamaño de la bolsa a utilizar dependerá del tiempo que se tenga planificado para que la planta permanezca en el vivero, entre más pequeña es la bolsa menor tiempo puede permanecer en el vivero o al contrario, una bolsa más grande presta mejores condiciones para que la planta pueda alcanzar un mayor crecimiento sin sufrir deterioro en su desarrollo.

Según CENICAFE (2011), el crecimiento de la raíz de las plántulas de café está limitado por el tamaño de la bolsa; cuando la raíz toca el fondo de la bolsa se produce un doblamiento en forma de “L”, los efectos negativos se observa en las plantas adultas y en la absorción de los nutrientes, causando raquitismo y el incremento de la sensibilidad de la planta. Es por ello que debe utilizar bolsas de 1 a 2 kg para mantener una plántula de 4 a 6 meses para trasplantar al campo.

Duicela (2011), señala como requerimientos esenciales para el café, lo siguiente: Nitrógeno, Fosforo (P), Potasio (K).

OBJETIVOS

GENERAL:

- Evaluar el efecto del tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y potasio en plántulas de café en fase de vivero.

ESPECÍFICOS:

- Estudiar el efecto de diferentes tamaños de bolsa en el desarrollo morfológico de plántulas de café.
- Determinar la dosificación de nitrógeno y fósforo para plántulas de café en fase de vivero.
- Recomendar la fertilización más adecuada de acuerdo al tamaño de la bolsa.

MARCO TEÓRICO

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Café.

El café es el nombre de la semilla del cafeto, un árbol que crece naturalmente en territorio etíope y que pertenece al grupo de las rubiáceas. El cafeto posee entre cuatro y seis metros de alto, presenta hojas opuestas de tonalidad verduzca, sus flores son blancas y sus frutos se exhiben en baya roja.

1.1.1 Origen.

El árbol del café procede del norte de Etiopía (antes llamada Abisinia), en el oriente de África. El cafeto es probablemente originario de la provincia de Kaffa, en Etiopía, pero la cuestión no está resuelta completamente. Crece en los bosques altos del suroeste de Etiopía, de 1300 a 2000 metros de altitud. El cafeto es un arbusto de 10 a 12 metros que crece espontáneamente.

1.1.2 Descripción Taxonómica.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnolipsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Subfamilia: Ixoroideae

Género: Coffea

1.1.3 Requerimientos Edafoclimáticos.

1.1.3.1 Temperatura.

El rango de temperaturas a la que se recomienda la plantación del café es entre 12 y 33 grados Celsius. Estudios muestran que las hojas de café fotosintetizan mucho menos cuando están expuestas directamente al sol, por lo que se utiliza la sombra en alrededor del 98% de las áreas plantadas

1.1.3.2 Humedad.

Se recomienda la plantación de café en regiones con humedad relativa moderada, para reducir la inoculación de enfermedades fungosas.

1.1.3.3 Altura.

Las plantaciones de café se recomiendan en un rango de alturas de 2500 pies a poco más de 5500 pies.

1.1.3.4 Suelo.

Los suelos para el cultivo de café deben ser de fertilidad media a alta, pero más importante aún es el equilibrio entre los elementos de magnesio/potasio, calcio/magnesio y calcio/potasio. También son importantes la textura del suelo y los tipos de minerales presentes, ya que influye directamente en la capacidad de fijación de fósforo.

1.1.3.5 pH.

Los suelos preferidos para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos, con pH entre 5 y 6. Con suelos que poseen pH inferiores a 5 se puede cultivar adecuadamente el café, siempre y cuando la estructura del suelo sea buena. Se suele aplicar bases a los suelos ácidos, principalmente utilizando o mezclando con calcio.

1.1.3.6 Precipitación.

Estudios han concluido en que la precipitación ideal para el cultivo del café es entre 1600 y 1800 mm al año, ya que al excederse excesivamente se reduce la productividad.

1.1.4 Germinación.

La madurez fisiológica de la semilla de café se alcanza entre los 200 y los 220 días después de la antesis (Franco y Alvarenga, 1981). Aunque la semilla carece de un período de latencia, debido a que las semillas húmedas (40-45% humedad) o secas (11- 13% de humedad) alcanzan un porcentaje de germinación alrededor del 90%, posee características morfológicas especiales que afectan la germinación como son: la presencia del endocarpio (pergamino) y la ubicación casi superficial del embrión dentro de la semilla.

1.2 Sustrato.

Es un medio sólido inerte, que tiene una doble función: la primera, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva, es la base del cultivo hidropónico en América Latina. Los materiales que se han experimentado para uso de laboratorio y para cultivos comerciales son muchos y no siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico. (Calderón y Cevallos 2002).

La granulación (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) ha de ser tal que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60 % de agua en relación con el volumen total (op. cit).

1.3.1 Tipos de sustrato.

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. Sin embargo (INFOAGRO 2002) los clasifica de la siguiente manera:

1.3.1.1 Según sus propiedades.

a) Sustratos químicamente inertes: Arena granítica o silíceo, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca. Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante.

b) Sustratos químicamente activos: Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, entre otros. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización. Almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

1.3.1.2 Según el origen de los materiales.

a) Materiales orgánicos.

- De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).
- De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
- Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, serrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, y otros.).

b) Materiales inorgánicos o minerales.

- De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, entre otras.).
- Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida.).
- Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, entre otros.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Sector Quebrada de la Virgen, estado Portuguesa. Se usó semilla de menos de tres meses de almacenamiento de la variedad Caturra, de rendimiento alto de granos rojos de buen tamaño y calidad suministradas por INIA. El ensayo experimental se realizó en campo, sin sombreado. Se evaluaron tres dosis: 2, 4, y 6 g planta del fertilizante químico (Hydrofos 10% N y 50% P₂O₅), comúnmente usado por los productores en la etapa de vivero, y tres tamaños de bolsa de polietileno negro: 13×15, 15×19 y 18×23 cm. La composición del fertilizante aportó las siguientes cantidades de N y P₂O₅ por planta: dosis 1: 0.20 y 0.43 g; dosis 2: 0.40 y 0.87 g; dosis 3: 0.60 y 1.30 g. La aplicación del fertilizante se inició 20 días después del trasplante desde el germinador a las bolsas de polietileno; se aplicó la misma dosis mensual durante cinco meses. El diseño experimental fue bloques al azar, con arreglo factorial de tratamientos 3×3, con cuatro repeticiones y 10 bolsas por unidad experimental (una planta por bolsa).

A los seis meses se midió la altura desde el cuello hasta la yema terminal, el número de pares de hojas, el diámetro del tallo a 2 cm por encima del cuello de cada planta y la biomasa seca de la raíz (BSR) y parte aérea (BSA), ambas después de permanecer en una estufa a 75 °C, hasta peso constante. Se calcularon los siguientes índices morfológicos: la relación parte aérea/radical, el cociente de esbeltez mediante la relación entre la altura de la planta (cm) y diámetro de tallo (mm), y el índice de calidad de Dickson, que integra los dos índices anteriores, mediante la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la suma del cociente de esbeltez y la relación parte aérea/radical (Birchler *et. al* 1998).

La longitud total de las raíces se midió por el método de la intersección de líneas: las raíces se distribuyeron al azar en una placa transparente (25×25 cm), debajo de la cual se colocó una hoja de papel con una cuadrícula (1×1 cm), se usó un contador manual para cuantificar las intersecciones de las raíces con las líneas de la cuadrícula y se aplicó la fórmula (Marsh, 1971): $LR = 11/14 \cdot N \cdot UC$, Donde: LR es la longitud radical (cm), N es el número de intersecciones entre las raíces y las líneas de la cuadrícula, y UC la unidad de la cuadrícula (1 cm). Además, se determinó la densidad longitudinal de las raíces (LV) al relacionar LR con el volumen ocupado por el sustrato dentro de la bolsa de propagación; y

el volumen radical (VR cm³) por desplazamiento de agua dentro de un cilindro graduado de 50 ml. Para el diámetro de la raíz (DR) se empleó la fórmula: $DR=2(VR*LR/\pi)^{1/2}$

Se realizó un análisis de varianza de los datos usando el programa SAS (Cary, NC, versión 8.0) según el modelo lineal general y la separación de medias se hizo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Además, se efectuó un análisis de regresión entre las principales variables de componentes aéreos y radicales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Efecto de la fertilización

Las dosis de fertilización no afectaron ($p>0.05$) las variables de crecimiento e índices morfológicos de la planta (Tablas 1 y 2), ni interaccionaron con los tamaños de bolsa. Las dimensiones medias de la raíz a los seis meses de edad fueron 3961 cm de longitud y 0.056 cm de diámetro, con una Lv de 2.57 cm cm⁻³. La altura de la planta promedió 10.96 cm, con 11.28 pares de hojas, diámetro del tallo de 0.35 cm, y una biomasa aérea que siempre superó a la subterránea (1.57 BSA/BSR). En Cuba, con dosis fijas de fertilizante y un solo tamaño de bolsa, Nogra (2019) encontraron valores mayores de altura de planta pero menores de diámetro del tallo y número de pares de hojas en la misma variedad, probablemente debido a que tenían dos plantas por bolsa.

Ortiz y Simón (2018) observaron mayores valores de altura de planta y menores del número de pares de hojas y biomasa total en la variedad Caturra de seis meses de edad, pero no mencionan el número de plantas sembradas en cada bolsa.

Tabla 1. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el crecimiento radical y aéreo de plantas de café en bolsas durante seis meses.

Fertilizante N/P (g planta ⁻¹)	Crecimiento radical		Crecimiento aéreo					
	Longitud raíz (cm)	Lv (cm cm ⁻³)	Diámetro raíz (cm)	BSR (g)	BSA (g)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Núm. pares de hojas
0.20/0.43	3858 a	2.63 a	0.060 a	3.54 a	3.58 a	10.94 a	0.36 a	10.90 a
0.40/0.87	4023 a	2.61 a	0.055 a	3.20 a	4.81 a	10.54 a	0.36 a	11.49 a
0.60/1.30	4002 a	2.48 a	0.054 a	3.24 a	4.08 a	11.39 a	0.33 a	11.46 a
Promedio	3961	2.57	0.056	3.33	4.16	10.96	0.35	11.28

Lv: densidad longitudinal de raíces; BSR: biomasa seca radical; BSA: biomasa seca aérea. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p\leq 0.05$).

Tabla 2. Respuesta de la fertilización con nitrógeno y fósforo en índices morfológicos de plántulas de café cultivadas en bolsas durante seis meses.

Fertilizante N/P (g planta)	Índices morfológicos		
	BSA/BSR	Coefficiente de esbeltez	Índice de Dickson
0.20/0.43	1.22 a	3.18 a	1.74 a
0.40/0.87	1.91 a	3.02 a	1.79 a
0.60/1.30	1.58 a	3.56 a	1.60 a

BSR: biomasa seca radical; BSA: biomasa seca aérea. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Efecto del tamaño de la bolsa

El tamaño de la bolsa de propagación afectó ($p \leq 0.05$) todas las variables de crecimiento, con excepción de Lv y el número de pares de hojas (Tabla 3). En las bolsas de menor tamaño las raíces fueron de menor longitud y mayor diámetro; en las bolsas de mayor tamaño hubo mayor acumulación de biomasa en la raíz.

En las bolsas más pequeñas las raíces alcanzaron las paredes del recipiente lo que muestra que el volumen del sustrato fue menor que el crecimiento radical durante el periodo evaluado. El aumento de la longitud de raíces con el tamaño de la bolsa y la falta de respuesta de la Lv indica que la plántula tuvo la capacidad de mantener su crecimiento con un mayor volumen de suelo, pero su capacidad de proliferación y ramificación, representada por la longitud de raíces por volumen de suelo, se mantuvo constante.

También fue notorio que las raíces aumentaron su grosor en las plantas que crecían en las bolsas de menor tamaño (Tabla 3), quizás como respuesta natural de las raíces confinadas en espacios reducidos o estreses abióticos que restringen su crecimiento en longitud (Yusuf, Johansen, Krishnamurthy y Hamid 2017).

El engrosamiento se debe al aumento del diámetro del cilindro central como

consecuencia del aumento del número y diámetro de los vasos del xilema, lo cual mejora la conductividad para el paso del agua y puede compensar, al menos parcialmente, la restricción en la absorción por la menor longitud de las raíces (Bennie, 2018). Con relación a la parte aérea, la mayor respuesta de la biomasa seca, la altura de la planta y el diámetro del tallo se obtuvo en las bolsas de mayor tamaño.

Los índices morfológicos fueron afectados por las dimensiones de la bolsa (Tabla 4). La relación parte aérea/raíz fue menor en las bolsas más grandes; es decir, en términos relativos el incremento de la biomasa de la raíz fue mayor que el incremento de la parte aérea, o bien, al usar bolsas pequeñas se afecta más el crecimiento radical que el de la parte aérea. El índice de Dickson, que es una medida integral del vigor de la planta, fue mayor en las bolsas más grandes; y como este índice se emplea para predecir el comportamiento en campo de especies de coníferas (Birchler et al., 1998), se infiere que las plántulas de café desarrolladas en las bolsas de mayor tamaño alcanzarían más fácilmente el establecimiento en campo y posterior etapa productiva. Por el contrario, el índice de esbeltez no fue afectado por el tamaño de la bolsa.

Tabla 3. Comportamiento morfológico entre el tamaño de la bolsa de propagación en el crecimiento radical y aéreo de plantas de café Caturra de seis meses.

Dimensiones de la bolsa	Crecimiento radical aéreo				Crecimiento			
	Longitud raíz (cm)	Lv (cm cm ⁻³)	Diámetro raíz (cm)	BSR (g)	BSA (g)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Pares de hojas
13×15 cm	2366 c	2.96 a	0.062 a	1.89 b	3.34 b	10.18 b	0.30 b	10.58 a
15×19 cm	3467 b	2.57 a	0.053 b	2.17 b	3.49 b	10.45 b	0.34 b	11.55 a
18×23 cm	6051 a	2.19 a	0.054 ab	5.93 a	5.65 a	12.24 a	0.40 a	11.73 a

Lv: densidad longitudinal de raíces; BSR: biomasa seca radical; BSA: biomasa seca aérea. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Tabla 4. Efecto del tamaño de la bolsa sobre índices morfológicos en plántulas de café Var. Caturra de seis meses de edad.

Dimensiones de la bolsa	Índices morfológicos		
	BSA/BSR	Coefficiente de esbeltez	Índice de Dickson
13×15 cm	1.98 a	3.47 a	1.03 b
15×19 cm	1.68 a	3.19 a	1.23 b
18×23 cm	1.06 b	3.08 a	2.88 a

BSA: biomasa seca aérea; **BSR:** biomasa seca radical. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Análisis de regresión

La longitud y biomasa de la raíz contribuyeron al crecimiento de la parte aérea de la planta y en sus índices morfológicos (Tabla 5). Más de la mitad de la variación en el grosor del tallo de la planta y en el índice de Dickson se puede explicar por la variación en la longitud de la raíz en los tres tamaños de bolsa. Aún mayor fue la asociación entre la biomasa seca de la raíz y el índice de Dickson (superior a 80% en cualquiera de los tamaños de bolsa), mientras que otras variables como la altura de la planta y número de pares de hojas presentaron baja asociación. La influencia de la longitud y biomasa de la raíz se atribuye a la capacidad que le confiere a la planta para absorber agua y minerales.

Con relación a los índices de crecimiento, el coeficiente de esbeltez presentó bajo grado de asociación con el crecimiento de la raíz; en cambio, el índice de Dickson fue un buen indicador del crecimiento vegetativo de la planta.

En Colombia, Salazar (2016) evaluó varios tamaños de bolsas durante seis meses en almácigos y encontró que las de mayor tamaño (17×23 cm) favorecieron el establecimiento y producción de plantas de café. De manera similar, en Cuba, Nogra. (2019) encontraron mayor crecimiento aéreo y radical en las bolsas de mayor tamaño, con respuestas más evidentes en la longitud de la raíz, área foliar, y biomasa radical y aérea. Sin embargo, con bolsas de menor tamaño se logra un mejor aprovechamiento del área del vivero, menor uso de sustratos y materia plástica para elaborar las bolsas, así como menos mano de obra para llenarlas, lo cual redujo los costos de producción op. cit. Por ello, la selección del tamaño más apropiado de la bolsa dependerá del balance entre el crecimiento esperado de la

plántula y el costo de preparación y manejo del recipiente. En cualquier caso, en la bolsa grande las plantas podrían permanecer algunas semanas adicionales si por motivos imprevistos se retrasara su traslado definitivo al campo.

Tabla 5. Asociación entre el crecimiento de la raíz y variables del crecimiento aéreo e índices morfológicos de plantas de café en función del tamaño de la bolsa de propagación.

Dimensiones de la bolsa	Variables (Y vs X)	Ecuación	Regresión (R ²)
13×15 cm	Dtallo vs Lraíz	$Y=0.209+0.0039 X$	0.520 *
	Índice Dickson vs BSR	$Y=-0.039+0.562 X$	0.829 **
	Índice Dickson vs Lraíz	$Y=-0.170+0.055 X$	0.559 **
15×19 cm	Dtallo vs Lraíz	$Y=0.023+0.0149 X-0.00014 X^2$	0.602 **
	Índice Dickson vs BSR	$Y=-0.245+0.678 X$	0.861 ***
	Índice Dickson vs Lraíz	$Y=-1.170+0.117 X-0.0011 X^2$	0.592 *
18×23 cm	Dtallo vs Lraíz	$Y=0.332+0.00117 X$	0.504 *
	Índice Dickson vs BSR	$Y=0.334+0.430 X$	0.848 ***
	Índice Dickson vs Lraíz	$Y=3.13-0.0412 X+0.00054 X^2$	0.590 *

Dtallo: diámetro del tallo (cm); BSR: biomasa seca de la raíz (g); Lraíz: longitud de la raíz (m).

CONCLUSIÓN

Las plantas de café necesitaron dosis bajas de fertilización con N y P para alcanzar buen término previo a su establecimiento en campo, mientras que en las dosis mayores sólo hubo absorción adicional de los nutrientes sin que ello se reflejara en aumento del crecimiento. Las bolsas de 18×23 cm presentan ventajas sobre las bolsas más pequeñas, de frecuente uso en los viveros comerciales, pues permiten producir plantas vigorosas, potencialmente aptas para lograr plántulas de café adultas de elevado rendimiento.

REFERENCIAS CITADAS

- Arizalet, M. 2019. Efecto de la fertilización con N-P-K sobre el contenido foliar y el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) en la etapa de vivero, en la población de Villanueva, estado Lara, Venezuela. *Rev. Café Cacao* 3(2): 57-61.
- Bennie, T. 2018. Growth and mechanical impedance. In: Waisel, Eshel Y. A., and U. Kafkafi (eds). *Plant Roots. The Hidden Half*. Marcel Dekker, New York. pp: 453-470.
- Birchler, T., R. W. Rowse, A. Royo, y M. Pardos. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Inv. Agr. Sist. Recur. For.* 7(1-2): 109-121.
- Camporeal, J. 2018. *Cafeto. Cultivo y Fertilización*. Berna, Instituto Internacional de la Potasa. Berna. 254 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas). 2006. Características de las variedades de café. Venezuela. [http:// www.inia.gov.ve/productos/semilla_cafe.html](http://www.inia.gov.ve/productos/semilla_cafe.html) (febrero 2021).
- Malavolta, E. 2020. *História Do Café No Brasil*. Editora Agronômica Ceres. Sao Paulo. 456 p.
- Marsh, B. A. 1971. Measurement of length in random arrangement of lines. *Appl. Ecol.* 8(1): 265-267.
- Nogera, S. 2019. Efecto de la modalidad sol o sombra, la densidad de plántulas por bolsa y el riego, en la producción de ‘Caturra rojo’ I. Crecimiento. *Cienc. Tec. Agric. Café y Cacao* 12(2): 41- 50.
- Ortiz, E., y Simón, E. 2018. Crecimiento y desarrollo de plántulas provenientes de granos deformados del cafeto (*Coffea arabica* Lin.) Parte I. Vivero. *Cultivos Trop.* 14(2-3): 89-91.
- Rojas, H. 2017. El manejo de almacigales de café en bolsa. *Rev. Icafé* 4(2): 1-7.
- Salazar, J. 2016. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. *Cenicafé* 47(3): 115-120.
- Yusuf ., C. Johansen, L. Krishnamurthy, y Hamid, A. 2017. Genotypic variation in root systems of chickpea (*Cicer arietinum* L.) across environments. *J. Agron. Crop Sci.* 191(6): 464-4

