

RESPUESTA DE PLÁNTULAS DE CAFETO AL TAMAÑO DE LA BOLSA Y FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO Y FÓSFORO EN VIVERO

COFFEE SEEDLINGS RESPONSE TO POT SIZE AND NITROGEN AND PHOSPHORUS FERTILIZATION AT NURSERY CONDITION

Miguel Arizaleta¹ y Reinaldo Pire²

¹Departamento de Fitotecnia. ²Posgrado de Horticultura. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apartado 400. Barquisimeto, Venezuela. (miguelarizaleta@ucla.edu.ve) (rjpire@reacciun.ve).

RESUMEN

La producción de cafetos vigorosos en el vivero es la base de su establecimiento en campo. En Venezuela, la sustitución de plantaciones viejas con variedades nuevas de alto rendimiento requiere una alta producción de plántulas de buena calidad, para lo cual se necesita conocer el tamaño más apropiado de las bolsas de propagación. En Duaca, Estado Lara, 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⁻¹ de fertilizante con 10% N y 50% P₂O₅). Como sustrato de propagación se usó suelo de la región con alto contenido de materia orgánica, buena permeabilidad y fertilidad. Se aplicó un arreglo factorial de tratamientos en un diseño 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*, almácigos, índices morfológicos, nutrición mineral, propagación de plantas, raíces.

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 (almácigo) para establecer plantaciones sanas, vigorosas y por consiguiente, capaces de producir altos rendimientos (Carvajal, 1984). En Venezuela los caficultores prefieren comprar las plantas en viveros

ABSTRACT

The production of vigorous coffee plants at the nursery is the basis of their successful establishment in the field. The replacement of old plantations by the new high-yielding varieties requires a high production of good quality seedlings and good knowledge of the most appropriate size of the nursery bags. The response of seedlings of *Coffea arabica* L. 'Caturra' grown in bags with three sizes (13×15, 15×19 or 18×23 cm) under three doses of fertilization (2, 4 and 6 g plant⁻¹ of fertilizer with 10% N and 50% P₂O₅) was assessed in Duaca, Lara State, Venezuela. The local soil, characterized by its high organic matter content, good fertility and proper permeability, was utilized as substrate. A factorial arrangement of treatments was used in a randomized complete block design with four replications and 10 bags per plot. The highest root and shoot growth of the seedlings (root length, plant height and biomass dry) was obtained in the largest bags. The different doses of fertilization affected the nutritional status of the plant but not its growth, since the substrate apparently provided the necessary nutrients. It is concluded that the largest bags allow sustained growth of the seedlings during the six months in the nursery and that small doses of fertilizer may be sufficient to bring them to completion before their final establishment in the field.

Key words: *Coffea arabica*, nursery, morphological indexes, mineral nutrition, plant propagation, roots.

INTRODUCTION

The opening of new coffee plantations as well as the replacement of the old ones by high-yielding varieties require to produce in nursery large volumes of high quality plants to establish vigorous and healthy plantations, capable of producing high yields (Carvajal, 1984). In Venezuela the coffee growers prefer to buy the seedlings in commercial nurseries rather than produce them, facing the risk that they are low quality plants for coming from unselected seed or being propagated in bags with inadequate size (Salazar-Arias, 1996).

Recibido: Febrero, 2007. Aprobado: Noviembre, 2007.
Publicado como NOTA en *Agrociencia* 42: 47-55. 2008.

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-Arias, 1996).

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 (datos no publicados), 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.*, 1989b), Colombia (Salazar-Arias, 1996) y Costa Rica (Rojas Castro, 2004). 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 la concentración foliar y el crecimiento de la plántula de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de vivero en una zona cafetalera del Estado Lara, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en la zona de Duaca del municipio Crespo, Estado Lara, Venezuela, a una altitud de 1000 m, cuya temperatura media anual es 20.5 °C y 1200 mm de precipitación media con 220 días lluviosos; la menor cantidad de lluvias ocurre al inicio y mediados del año. Se usó suelo de textura franco arcillo-arenosa

The use of bags for propagation of coffee seedlings allows the production of plants in lower time, with greater ability to withstand the stress associated with transplant in the field and enables a more efficient use of the resources involved, because the grower can modify the environment around the developing seedling by applying fertilizer and by using bags of different sizes which influences the morphology and physiology of the plant (Birchler *et al.*, 1998). The more frequent fertilizer doses at nursery vary from 0.48 to 0.60 g of N and K₂O, and 0.60 to 0.96 g of P₂O₅ per bag (Arizaleta *et al.*, 2002). In the field the plants have responded mainly to nitrogen and potassium (Carvajal, 1984), and in nursery, to nitrogen and phosphorus (Malavolta, 2000).

When large sized bags are used, the reserve capacity for water and nutrients is increased, and within certain limits there is a greater root development, but production costs rise. According to Arizaleta and Pire (unpublished data), when replacing bags of 13×15 cm by others of 18×23 cm the capacity to contain substrate is doubled, but the cost of materials and labor is increased by about 46 US dollars for every thousand plants in the nursery. In addition, the size of the bag depends on the duration of the plant in the nursery, which is usually six months in producing countries of Central and South America, where there is no standard size because the bags vary between 11 and 20 cm wide by 17 and 30 cm high (1 to 3 L capacity) according to reports from Cuba (Nápoles *et al.*, 1989b), Colombia (Salazar-Arias, 1996), and Costa Rica (Rojas Castro, 2004). In Venezuela it was not found information on the most appropriate bag size for the local coffee farming conditions.

Therefore, the objective of this study was to assess the effect of the bag size and levels of nitrogen and phosphorus fertilization on the foliar concentration and growth of coffee seedlings at nursery stage in a producing area of Lara State, Venezuela.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the area of Duaca, Crespo County, Lara State, Venezuela, at an altitude of 1000 m, with mean annual temperature of 20.5 °C and 1200 mm rainfall with 220 rainy days; the lowest amount of rainfall occurs at the beginning and the middle of the year. The local soil, characterized by its sandy-clay loam texture (65% sand and 29% clay), good permeability, high organic matter content (5.7%), low electrical conductivity (0.32 dS m⁻¹) and slightly acidic reaction (pH=6), without aluminium problems. The fertility was good: 24 mg kg⁻¹ P, 175 mg kg⁻¹ K, 2800 mg kg⁻¹ Ca, and 330 mg kg⁻¹ Mg. It was used seed of coffee 'Caturra', a high-yield variety with red grains and good size and quality (INIA, 2006); the seed had less than three-month storage. The experiment

(65% arena y 29% arcilla) con buena permeabilidad, contenido alto de materia orgánica (5.7%), conductividad eléctrica baja (0.32 dS m⁻¹) y reacción ligeramente ácida (pH=6), sin problemas de aluminio. La fertilidad fue buena: 24 mg kg⁻¹ P, 175 mg kg⁻¹ K, 2800 mg kg⁻¹ Ca y 330 mg kg⁻¹ Mg. 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 (INIA, 2006). El experimento se hizo en campo, sin sombreado. Se evaluaron tres dosis: 2, 4, y 6 g planta⁻¹ 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 d 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).

Las raíces limpias se conservaron en alcohol al 70% y se rehidrataron y tiñeron con safranina al 0.5%. 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 raíces (L_v) 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. Por último se calculó el diámetro medio (DR , cm) de las raíces mediante la fórmula $DR=2 (VR \cdot LR/\pi)^{1/2}$.

En las plantas de seis meses de edad se determinó la concentración foliar de N, P y K recolectando todas las hojas, que se lavaron con jabón, se enjuagaron con agua destilada, secaron a 75 °C hasta peso constante y se molieron. Se analizó el N por el método del microkjeldal, y luego de una digestión nítrico-perclórica se determinó el P mediante el método del vanadato-molibdato (Jones, 2001) y el K por fotometría de llama.

was run in the open field with no shade, and the treatments consisted in three doses: 2, 4 and 6 g plant⁻¹ of Hydrofos (10% N, 50% P₂O₅), a commercial fertilizer commonly used by producers at the nursery stage, and three sizes of black polyethylene bags: 13×15, 15×19, and 18×23 cm. The composition of fertilizer contributed the following amounts of N and P₂O₅ per plant: dose 1=0.20 and 0.43 g; dose 2=0.40 and 0.87 g; and dose 3=0.60 and 1.30 g. The application of fertilizer started 20 d after transplant from the germinator to the polythene bags; the same doses were applied monthly for five months. The experimental design was randomized complete block with a 3×3 factorial arrangement of treatments with four replicates and 10 bags per plot (one plant per bag).

When completing six months the following variables were evaluated on each bag: plant height measured from the neck to the terminal bud, number of pairs of leaves, stem diameter 2 cm above the neck, and dry biomass of root (BSR) and shoot (BSA), both after drying in an oven at 75 °C to constant weight. The following morphological indexes were computed: the shoot to root ratio, the slenderness ratio by relating the plant height (cm) to the stem diameter (mm), and the quality Dickson index which represents the relationship between the total plant biomass (g) and the sum of the former two ratios (Birchler *et al.*, 1998).

The clean roots were kept in alcohol 70% and, later, were rewetted and stained with safranin 0.5% previous to measurement. The total root length was measured by the method of the intersection of lines: the root segments were randomly distributed on a transparent plate (25×25 cm), below which a sheet of paper with a grid (1×1 cm) was placed, and the intersections of the roots with the lines of the grid were quantified. The following formula was applied (Marsh, 1971): $LR=11/14 \cdot N \cdot UC$, where LR is the root length (cm), N the number of intersections, and UC the unity of the grid (1 cm). In addition, the root length density (L_v) was determined by relating LR to the volume occupied by the substrate in the bag, and the root volume (VR , cm³) by water displacement in a 50 mL graduated cylinder. Finally, the mean root diameter (DR , cm) was calculated by the formula $DR=2 (VR \cdot LR/\pi)^{1/2}$.

The foliar concentration of N, P, and K in the six-month age plants was determined collecting all the plant leaves, which were washed in soapy water, rinsed with distilled water, dried at 75 °C to constant weight, and grinded. N was analyzed by microkjeldahl, and after a nitric-perchloric digestion, P was analyzed by the vanadate-molybdate method (Jones, 2001) and K by flame photometry.

The analysis of variance of the data was performed according to the General Linear Model of the SAS program (Cary, NC, version 8.0), and the mean separation by Tukey test ($p \leq 0.05$). In addition, a regression analysis was conducted between the main variables of shoot and root components.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of fertilization

The fertilization doses did not affect ($p > 0.05$) the growth variables and morphological indexes of

Se hizo 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 (Cuadros 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, Nápoles *et al.* (1989a) 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. En

the plant (Tables 1 and 2), nor interacted with bag sizes. The mean root dimensions of the six-month age plants were 3961 cm in length and 0.056 cm in diameter, with Lv of 2.57 cm cm^{-3} . The height of the plant averaged 10.96 cm, with 11.28 pairs of leaves, 0.35 cm stem diameter, and an aboveground biomass always exceeding the underground (BSA/BSR averaging 1.57). In Cuba, with fixed doses of fertilizer and a unique bag size, Nápoles *et al.* (1989a) found higher plant heights, but smaller in stem diameters and of pairs of leaves in the coffee 'Caturra', probably due to the fact they used two plants per bag. In the same country, Ortiz and Simon (1993) observed higher values for plant height and lower for the number of pairs of leaves and total biomass in the same variety, six-month old, but they do not mention the number of plants in each bag.

The foliar concentration of N and P increased as the fertilization doses increased (Table 2), but the K concentration remained constant, indicating that the different doses did not produce any synergistic or antagonistic effect on its absorption. In the coffee variety Catuaí Amarillo, Arizaleta *et al.* (2002) detected an antagonistic effect between P and K when applying in nursery increasing doses

Cuadro 1. Respuesta de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre el crecimiento radical y aéreo de plantas de café Caturra cultivadas en bolsas durante seis meses.

Table 1. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on root and shoot growth of 'Caturra' coffee plants grown in bags for six months.

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 ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Respuesta de la fertilización con nitrógeno y fósforo en índices morfológicos y concentración foliar de N, P y K de plantas de café Caturra cultivadas en bolsas durante seis meses.

Table 2. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on morphological indexes and foliar N, P, K concentrations of 'Caturra' coffee plants grown in bags for six months.

Fertilizante N/P (g planta ⁻¹)	Índices morfológicos			Concentración (mg g ⁻¹)		
	BSA/BSR	Coefficiente de esbeltez	Índice de Dickson	N	P	K
0.20/0.43	1.22 a	3.18 a	1.74 a	40.58 b	2.58 c	7.60 a
0.40/0.87	1.91 a	3.02 a	1.79 a	50.08 a	3.08 b	8.10 a
0.60/1.30	1.58 a	3.56 a	1.60 a	52.17 a	3.65 a	7.87 a

BSR: biomasa seca radical; BSA: biomasa seca aérea. Medias con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$), excepto para el contenido de N y P donde $p \leq 0.08$.

ese mismo país, Ortiz y Simón (1993) 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.

La concentración foliar de N y P aumentó a medida que aumentaron las dosis de fertilización (Cuadro 2), pero la concentración de K se mantuvo constante, lo que refleja que las dosis no produjeron efectos sinérgicos ni antagonicos en su absorción. En la variedad Catuaí Amarillo, Arizaleta *et al.* (2002) detectaron un efecto antagonico entre el P y el K al aplicar dosis crecientes de P en un suelo deficiente en este elemento, en vivero.

A pesar del aumento en las concentraciones de N y P en la planta ante las dosis crecientes de fertilización, la producción de biomasa no cambió, lo cual indica que habría un consumo de lujo de estos nutrientes o que el suelo (tal vez en combinación con la dosis menor del fertilizante) habría sido capaz de suministrar oportunamente a la plántula sus requerimientos nutricionales.

Los niveles foliares de N fueron similares a los observados por Arizaleta *et al.* (2002) en cafetos de la variedad Catuaí Amarillo de la misma edad, pero los niveles de P fueron hasta tres veces superiores. Para plantas adultas en producción de *C. arabica*, Mills and Jones (1996) indican que, en promedio, los niveles adecuados de N y P son 30.0 y 2.5 mg g⁻¹, y según Ochoa *et al.* (2001), la dosis de P para un máximo rendimiento debería ser al menos 2.0 mg g⁻¹. En el presente estudio estos niveles fueron hasta 70 a 80% superiores, lo cual pudiera atribuirse a la condición de plantas muy jóvenes o al posible consumo de lujo ya mencionado. Van Wijk *et al.* (2003) señalan que el P absorbido en exceso es convertido en polifosfato u otros fosfatos sin afectar el crecimiento de las plantas.

El patrón de contenido nutrimental en las hojas a los seis meses de edad fue mayor para N, seguido por K y P, con promedios de 99.2 mg N, 6.4 mg P y 15.7 mg K. Vásquez y Becerril (1994) encontraron un patrón similar en la planta entera de la variedad Catimor de seis meses de edad aunque reportan una relación más estrecha entre los valores de N y P. En ninguno de los dos experimentos se observaron en las plantas síntomas visuales de deficiencias nutricionales.

Effecto 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 (Cuadro 3). En las bolsas de menor tamaño las raíces fueron de menor longitud y mayor diámetro; en las bolsas de

of P in a soil deficient in this element in nursery. Despite the increase in the N and P concentrations in the plant at increasing doses of fertilization, biomass production did not change, which indicates that there would be a luxury consumption of these nutrients, or that the soil (perhaps in combination with the lower fertilizer dose) would have been able to provide the nutritional requirements of the seedling in a timely manner.

Foliar N levels were similar to those observed by Arizaleta *et al.* (2002) in the coffee Catuaí Amarillo of the same age, but levels of P were up to three times higher. For adult plants in production of *C. arabica*, Mills and Jones (1996) indicate that, on average, adequate levels of N and P are 30.0 and 2.5 mg g⁻¹, and according to Ochoa *et al.* (2001) the dose of P for maximum yields should be at least 2.0 mg g⁻¹. In the present study, the P levels were up to 70 to 80% higher, which could be attributed to the condition of plants very young or the probable luxury consumption already mentioned. Van Wijk *et al.* (2003) indicate that the P absorbed in excess is converted into polyphosphate or other phosphates without affecting plant growth. The pattern of nutrient content in the leaves was higher for N, followed by K and P, with averages of 99.2 mg N, 6.4 mg P and 15.7 mg K. Vasquez and Becerril (1994) found a similar pattern in the whole plant of the variety Catimor six-month old but reported a closer relationship between the values of N and P. In none of these two experiments there were plants with visual symptoms of nutritional deficiencies.

Effect of the bag size

The size of the nursery bag affected ($p \leq 0.05$) all growth variables, with the exception of Lv and the number of pairs of leaves (Table 3). In the smaller bags roots showed smaller length and larger diameter while in the larger bags there were greater biomass accumulation in the root. In the smaller bags the roots reached the walls of those containers before the end of the experiment showing that the volume of the substrate was insufficient to sustain the root growth during the evaluation period. The increase of the root length with the bag size and the lack of response of Lv indicate that the seedling was able to maintain its growth in a greater substrate volume, but its ability to proliferation and ramification, represented by the length of roots per volume of soil, remained constant. It was also evident that the root thickness increased in the plants growing in smaller bags (Table 3), perhaps as a natural response of the roots in confined spaces or abiotic stresses that restrict their growth in length (Yusuf Ali *et al.*, 2005). The

Cuadro 3. Respuesta del tamaño de la bolsa de propagación en el crecimiento radical y aéreo de plantas de café Caturra de seis meses de edad.**Table 3. Effect of container size on root and shoot growth of 'Caturra' coffee plants grown in bags for six months.**

Dimensiones de la bolsa	Crecimiento radical				Crecimiento aéreo			
	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 ($p \leq 0.05$).

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 (Cuadro 3), quizás como respuesta natural de las raíces confinadas en espacios reducidos o estreses abióticos que restringen su crecimiento en longitud (Yusuf Ali *et al.*, 2005). 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, 1996). 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 (Cuadro 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

thickening is due to the increase in the diameter of the central cylinder as a result of the increase in the number and diameter of xylem vessels, which improves the conductivity for the water flow and can offset, at least partially, the restriction on the absorption by the lower length of the roots (Bennie, 1996). With regard to the shoot growth, the greatest response from the dry biomass, plant height and stem diameter was obtained in the larger bags.

The morphological indexes were also affected by the dimensions of the bag (Table 4). The shoot to root ratio was lower in the larger bags, that is, in relative terms the increase in the root biomass was greater than the increase in the shoot, or that the use of small bags affected more the root growth than the shoot growth. The Dickson index, which represents a comprehensive measure of the plant vigour, was greater in the larger bags, and as this index is used to predict the performance in the field of conifer species (Birchler *et al.*, 1998) it can be inferred that the coffee seedlings developed in the larger bags could more easily achieved their field establishment and subsequent yielding stage. By contrast, the slenderness ratio was unaffected by the bag size.

Foliar N and P concentrations decreased as the size of the bag increased (Table 4), which was attributed to a possible dilution effect because in the larger bags there were higher biomass production. The potassium concentration remained unchanged.

Regression analysis

The length and biomass of the root contributed to the growth of aboveground part of the plant and its morphological indices (Table 5). More than half of the variation of the stem thickness and Dickson index could be explained by the variation in root length in the three bag sizes. Even greater was the relation between the root biomass and the Dickson index (more than 80% in any of the bag sizes), while other variables such as plant height and number of pairs

Cuadro 4. Efecto del tamaño de la bolsa sobre índices morfológicos y concentración foliar de N, P y K en plantas de café Caturra de seis meses de edad.
Table 4. Effect of container size on morphological indexes and foliar N, P, K concentrations of 'Caturra' coffee plants grown in bags for six months.

Dimensiones de la bolsa	Índices morfológicos			Concentración (mg g ⁻¹)		
	BSA/BSR	Coefficiente de esbeltez	Índice de Dickson	N	P	K
13×15 cm	1.98 a	3.47 a	1.03 b	53.67 a	3.63 a	7.73 a
15×19 cm	1.68 a	3.19 a	1.23 b	49.75 b	3.20 b	7.97 a
18×23 cm	1.06 b	3.08 a	2.88 a	39.42 c	2.48 c	7.87 a

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

productiva. Por el contrario, el índice de esbeltez no fue afectado por el tamaño de la bolsa.

Las concentraciones de N y P disminuyeron a medida que el tamaño de la bolsa aumentó (Cuadro 4), lo cual se atribuye a un posible efecto de dilución pues en las bolsas más grandes hubo mayor producción de materia seca. El potasio mantuvo inalterable su concentración.

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 (Cuadro 5). Más de la mitad de la variación en el grosor del tallo de la planta y en el índice de Dickson se pudo 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. En cereales, la absorción de agua

of leaves showed low relationship. The influence of the length and biomass of the root is attributed to the capacity that it gives the plant to absorb water and minerals. In cereals, water absorption occurred in a pattern roughly proportional to the length of the root (Kondo *et al.*, 2000), and some models demonstrate the importance of the total root length on water and solutes absorption (Somma *et al.*, 1998; Bloom *et al.*, 2003).

With regard to growth rates, the slenderness ratio showed low degree of association with the root growth, while the Dickson index was a good indicator of the growth of the plant.

In Colombia, Salazar-Arias (1996) evaluated for six months various bag sizes in coffee seedlings and found that the larger bag (17×23 cm) enhanced the establishment and subsequent production of the plants. Similarly, in Cuba, Nápoles *et al.* (1989b) found higher shoot and root growth when using large bags, with the most obvious effects on the root length, leaf area, and biomass of shoots and roots. However, when using smaller bags there was a better use of the nursery areas, lower use of substrates and plastic sheet to make the bags, as well as less labor to fill them, which reduced production costs (Nápoles *et*

Cuadro 5. Asociación entre el crecimiento de la raíz y variables del crecimiento aéreo e índices morfológicos de plantas de café Caturra de seis meses de edad en función del tamaño de la bolsa de propagación.
Table 5. Relationship between root growth and variables of shoot growth and morphological indexes of six-month old 'Caturra' coffee plants as a function of the size of the container.

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).

se produjo con un patrón aproximadamente proporcional a la longitud de la raíz (Kondo *et al.*, 2000), y con algunos modelos se demuestra la importancia de la longitud total de la raíz en la absorción de agua y solutos (Somma *et al.*, 1998; Bloom *et al.*, 2003).

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-Arias (1996) 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, Nápoles *et al.* (1989b) 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 (Nápoles *et al.*, 1989b). 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.

CONCLUSIONES

Las plantas de cafeto 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 cafetos adultos de elevado rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Arizaleta, M., R. Pire, y J. Parés. 2002. 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, A. T. 1996. 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.
- Bloom, A. J., P. A. Meyerhoff, A. R. Taylor, and T. L. Rost. 2003. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *Plant Growth Regul.* 21(4): 416-431.
- Carvajal, J. F. 1984. *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 (consulta el 30/09/07).
- Jones, J. B. 2001. *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 363 p.
- Kondo, M., V. R. Murty, and D. V. Aragon. 2000. Characteristics of root growth and water uptake from soil in upland rice and maize under water stress. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(3): 721-732.
- Malavolta, E. 2000. *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.
- Mills, H., and J. B. Jones. 1996. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Pub. Athens, Georgia. 422 p.
- Nápoles, S., G. Tabares, E. Méndez, y B. Cumba. 1989a. 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.
- Nápoles, S., J. A. Lacerra, G. Tabares, R. Cordero, y R. Arenal. 1989b. Influencia del tamaño de la bolsa y el número de plantas por bolsa en el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Coffea canephora* cultivar 'Robusta'. *Cienc. Tec. Agric. Café y Cacao* 12(2): 51- 58.
- Ochoa, M., R. Rivera, C. Bustamante, y M. I. Rodríguez. 2001. La fertilización fosfórica del *Coffea arabica* L. en suelo ferrítico rojo-oscuro. Parte II. Fertilización órgano-mineral. *Cultivos Trop.* 22(2): 53-58.

CONCLUSIONS

Coffee plants required low dose of N and P fertilization to achieve good condition prior to their establishment in the field, while at higher doses there were only additional nutrient absorption without any added increase of growth. Bags sized 18×23 cm presents advantages over the smaller bags frequently used in commercial nurseries, allowing production of vigorous plants potentially suitable to achieve future high yields.

—End of the English version—



- Ortiz, E., y E. Simón. 1993. Crecimiento y desarrollo de plántulas provenientes de granos deformados del caféto (*Coffea arabica* Lin.) Parte I. Vivero. Cultivos Trop. 14(2-3): 89-91.
- Rojas Castro, H. 2004. El manejo de almacigales de café en bolsa. Rev. Icafe 4(2): 1-7.
- Salazar-Arias, J. 1996. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. Cenicafé 47(3): 115-120.
- Somma, F., J. W. Hopmans, and V. Clausnitzer. 1998. Transient three-dimensional modelling of soil water and solute transport with simultaneous root growth, root water and nutrient uptake. Plant and Soil 202(2): 281-293.
- Van Wijk, M. T., M. Williams, L. Gough, S. E. Hobbie, and G. R. Shaver. 2003. Luxury consumption of soil nutrients: a possible competitive strategy in above-ground and below-ground biomass allocation and root morphology. J. Ecol. 91(4): 664-676.
- Vásquez, M., y E. Becerril. 1994. Contenido y concentración de N, P y K en plantas de caféto (*Coffea arabica*) en la etapa de vivero. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 38: 174-175.
- Yusuf Ali, M., C. Johansen, L. Krishnamurthy, and A. Hamid. 2005. Genotypic variation in root systems of chickpea (*Cicer arietinum* L.) across environments. J. Agron. Crop Sci. 191(6): 464-472.