

DISTRIBUCIÓN DE RAÍCES EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® BAJO DOS ARREGLOS ESPACIALES

José Raúl Rendón Sáenz*, Andrea Giraldo Herrera**

RENDÓN S., J.R.; GIRALDO H., A. Distribución de raíces en café variedad Castillo® bajo dos arreglos espaciales. Revista Cenicafé 70(1):7-17. 2019

Las raíces de las plantas son órganos de importancia para el anclaje, la absorción y el transporte de agua y minerales desde la solución del suelo. Con el objetivo de determinar la distribución de raíces en plantaciones de café variedad Castillo® de cinco años de edad, bajo dos arreglos espaciales a 1,0 m x 1,0 m y 1,0 m x 2,0 m con 10.000 tallos/ha, se extrajeron las raíces del área de terreno ocupada por la planta, 1,0 y 2,0 m², respectivamente. Las muestras se tomaron a dos profundidades, 0 a 25 cm y 25 a 50 cm y a distancias horizontales cada 25 cm desde la base del tallo, 50 cm y 100 cm, para los arreglos espaciales 1,0 x 1,0 m y 1,0 x 2,0 m, respectivamente, en cuatro árboles. A partir de un diseño completamente aleatorio, en arreglo factorial, se evaluó la interacción distancia por profundidad para la variable de respuesta (densidad de raíces totales). En los primeros 25 cm de distancia horizontal medidos a partir de la base del tallo y a una profundidad de 25 cm se encontró la mayor densidad de raíces finas y totales, en ambos arreglos espaciales, según la prueba de contraste al 5%. La proporción de raíces totales hasta los 25 cm de profundidad fue del 86,3% y de 86,4% en los arreglos espaciales de 1,0 x 1,0 m y 1,0 x 2,0 m, respectivamente. Una distancia de 25 cm desde la base del tallo podría indicarse como sitio adecuado para la aplicación del fertilizante.

Palabras clave: Raíces totales, raíces finas, *Coffea arabica*.

DISTRIBUTION OF ROOTS IN THE CASTILLO® COFFEE VARIETY UNDER TWO SPATIAL ARRANGEMENTS

Roots are important organs for plants to anchor, absorb and transport water and minerals from the soil solution. In order to determine the distribution of roots in five-year-old Castillo® coffee variety plantations, under two spatial arrangements at 1.0 m x 1.0 m and 1.0 m x 2.0 m with 10,000 stems/ha, the roots of the area of land occupied by the plant, 1.0 and 2.0 m², respectively, were extracted. The samples were taken at two depths 0 to 25 cm and 25 to 50 cm and horizontal distances every 25 cm from the base of the stem, 50 cm and 100 cm, for the spatial arrangements 1.0 m x 1.0 m and 1.0 m x 2.0 , respectively, in four trees. Through a completely randomized design in factorial arrangement, the interaction distance by depth was evaluated for the response variable (total root density). In the first 25 cm of horizontal distance measured from the base of the stem and at a depth of 25 cm the highest density of fine and total roots was found in both spatial arrangements, according to a 5% contrast test. The proportion of total roots up to 25 cm of depth was 86.3% and 86.4% m in the spatial arrangements of 1.0 m x 1.0 m and 1.0 m x 2.0 respectively. A distance of 25 cm from the base of the stem could be specified as a suitable site for fertilizer application.

Keywords: Total roots, fine roots, *Coffea arabica*.

*Investigador Científico I. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas.

La importancia del sistema de raíces del café está soportada en la capacidad que poseen dichos órganos para desempeñar funciones como la absorción y el transporte del agua y los minerales desde la solución del suelo. Además, la raíz es el medio de anclaje de la planta en el suelo y contribuye en la síntesis de algunos reguladores de crecimiento y compuestos orgánicos (Arcila y Riaño, 1991).

El óptimo desempeño del sistema radical depende de una estructura bien desarrollada, tanto de la raíz pivotante como de las raíces laterales y finas, que le proporcionen a la planta una mayor capacidad de obtención de los nutrimentos para su crecimiento (Arcila, 1992). Entre los principales aspectos que determinan el crecimiento de la raíz se encuentran las propiedades físicas y químicas de los suelos, la disponibilidad hídrica, el grado de competencia con las plantas vecinas y la interacción con otros organismos que habitan el suelo (Partelli *et al.*, 2014; Ronchi *et al.*, 2015). A pesar del conocimiento de las funciones que ejercen las raíces en las especies vegetales, en el cultivo de café son pocos los estudios que relacionan el crecimiento de estos órganos con el arreglo espacial y las distancias de siembra.

Las raíces de café, al encontrar condiciones limitantes pueden afectar su crecimiento, provocando un desarrollo deficiente de la parte aérea de la planta, baja producción y, en condiciones extremas, causar su muerte (Arcila, 1992). Un buen sistema radical se relaciona con las propiedades físicas del suelo y con su buen drenaje (Silva y Martins, 2010). La densidad del suelo influye en el desarrollo de las raíces debido a su relación con otras características como la porosidad total, la retención de humedad, la permeabilidad al agua y al aire, la penetrabilidad de las raíces y la actividad microbiana (Salamanca y Sadeghian, 2004).

Las prácticas de manejo agronómico en su conjunto son determinantes para el crecimiento y la productividad de los cultivos, aspectos como una correcta selección de las distancias y la densidad de siembra son fundamentales para el establecimiento del cultivo (Carvalho *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2007). En términos prácticos si el hábito de crecimiento de las plantas es de tipo compacto, con un alto potencial de producción, puede considerarse el uso de distancias de siembra cortas para favorecer mayores rendimientos por unidad de área (Anim-kwapong *et al.*, 2010). En Brasil, a partir del uso de menores distancias de siembra en plantaciones de café, se han obtenido los mayores registros de biomasa, volumen y área superficial total de raíces en el suelo (Ronchi *et al.*, 2015). Por otro lado, Silva *et al.* (2016) en plantas de café de tres años de edad encontraron un mayor número de raíces finas a una profundidad comprendida entre 0,60 y 0,90 m, lo cual se relaciona con la ocurrencia de períodos secos prolongados, en los que el agua se encuentra disponible en estas capas del suelo.

En Colombia, los primeros estudios desarrollados por la Federación Nacional de Cafeteros- FNC (1969) sobre la raíz del café en variedad Típica, determinaron que, hasta los 10 cm de profundidad desde la superficie del suelo, se encuentra el 65% de las raíces finas, las cuales tienen como principal función, la absorción de agua y nutrientes; también se reporta que entre la superficie del suelo y 1,0 m de profundidad se encuentra el 90% de las raicillas, y a 1,5 m todas las raíces del café.

En diferentes cultivares de *Coffea arabica*, Garriz (1979) encontró que las raíces fibrosas son más abundantes en los primeros 30 cm de profundidad del suelo. En cuanto a la distribución lateral de las raíces, el mayor

porcentaje se registró en los primeros 60 cm de distancia desde la base del tallo.

La distribución de las raíces según el tipo de suelos donde se desarrollan también puede ser variable en abundancia y profundidad. Carducci *et al.* (2014) obtuvieron la mayor concentración de raíces entre 0,20 y 0,34 m de profundidad en un suelo latosol caolinitico y la mayor presencia de raíces finas en un latosol gibbsítico, entre 0,80 y 0,94 m de profundidad.

Uno de los métodos más empleados para evaluar raíces en especies vegetales se basa en la extracción de muestras de suelo y raíz a través de cilindros o cubos de acero de volumen conocido. Las raíces son separadas del suelo y se establecen relaciones entre la longitud o la biomasa radical con el volumen de suelo (densidad radical) para describir su comportamiento (Gómez *et al.*, 2018; Ronchi *et al.*, 2015).

Dada la importancia que tiene la raíz del café en los sistemas de producción, con las actuales variedades que se cultivan en Colombia, esta investigación tuvo como objetivo determinar la distribución de raíces en dos arreglos espaciales del cultivo de café variedad Castillo®. Los resultados que se presentan son de utilidad para ajustar prácticas de manejo agronómico relacionadas con la identificación del sitio de aplicación del fertilizante, el monitoreo de plagas y enfermedades de la raíz y el manejo de las arvenses.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), a 4°

58' latitud Norte y 75° 39' longitud Oeste, a 1.381 m de altitud, temperatura media de 20,8°C, brillo solar anual de 1.797 horas y promedio anual de precipitación de 2.656 mm, con suelos correspondientes a la Unidad Chinchiná, clasificado taxonómicamente como acruoxic melanudands. Se utilizaron plantas de café variedad Castillo®, provenientes de dos lotes establecidos a libre exposición solar, ambos con cinco años de edad, cuatro cosechas registradas en el ciclo de producción y próximos a ser renovados por zoca¹. El primer lote seleccionado tenía una densidad de siembra de 10.000 plantas/ha, con un tallo por sitio, en arreglo espacial de 1,0 x 1,0 m, y el segundo tenía 10.000 tallos/ha obtenidos en un sistema de siembra de 5.000 plantas/ha con dos tallos por sitio, colino descopado², en arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m.

Biomasa de raíces. Para determinar la biomasa de raíces, se seleccionaron aleatoriamente cuatro plantas (unidad experimental) por cada arreglo espacial. Bajo un diseño completamente aleatorio en arreglo factorial, en el área de terreno ocupada por la planta, según la densidad de siembra y el arreglo espacial, se extrajeron el suelo y la raíz por medio de cubos metálicos de 25 cm en sus lados, tomando las muestras en las distancias horizontales desde la base del tallo hasta 50 cm y 100 cm, para los arreglos espaciales 1,0 x 1,0 m y 1,0 x 2,0 m, respectivamente, y en dos profundidades, de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm (Figuras 1 y 2).

En el arreglo espacial 1,0 x 1,0 m en un área total de 1,0 m² por planta, se tomaron 16 muestras (cubos) por cada profundidad (Figura 1) y en el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m en un área total de 2,0 m² por planta se obtuvieron 32 muestras por cada profundidad (Figura 2).

¹ **Zoca:** corte del tallo a 30 cm desde la superficie del suelo

² **Colino descopado:** eliminación de la yema terminal del tallo en etapa de almácigo.

La extracción de las muestras de suelo y raíces se hizo desde la parte externa del área ocupada por la planta, hacia la base del tallo (Figuras 1 y 2). Las raíces fueron removidas del suelo por medio de tamizado en seco y, posteriormente, se lavaron y secaron al aire, para eliminar el exceso de agua y almacenarlas en bolsas de papel.

La biomasa de raíces se determinó llevando las muestras a secado en horno, con una temperatura de 70°C, con recirculación de aire hasta obtener su peso constante. En el laboratorio las raíces se clasificaron de acuerdo a su diámetro, en finas ≤ 5 mm y gruesas $>$

5 mm. Finalmente, se registró el peso total y el peso para cada diámetro, mediante una balanza Mettler Toledo PB3002-5.

Análisis de la información. Para cada arreglo espacial (lote) se estimó el promedio de raíces finas y raíces totales, en las diferentes distancias horizontales y en cada profundidad. A partir del diseño completamente aleatorio en arreglo factorial, se evaluó la interacción distancia por profundidad para la variable de respuesta (densidad de raíces totales) y la combinación con el mayor promedio de densidad de raíces, según prueba de contraste al 5%. La densidad de raíces se obtuvo a

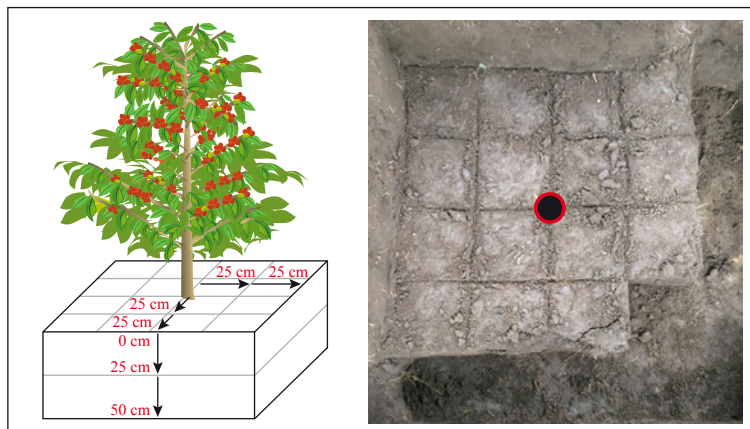


Figura 1. Distancias horizontales y verticales para la extracción de muestras de suelo y raíces en el arreglo espacial 1,0 m x 1,0 m.

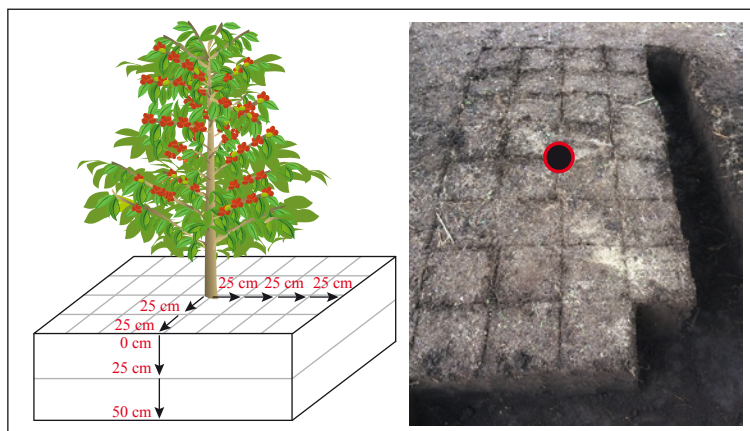


Figura 2. Distancias horizontales y verticales para la extracción de muestras de suelo y raíces en el arreglo espacial 1,0 m x 2,0 m.

partir de la relación entre la biomasa de raíces y el volumen del cubo con el cual se extrajeron las muestras. Para el análisis estadístico se utilizó el Software SAS versión 9.4 (SAS institute, 2012).

La distribución de las raíces en los dos arreglos espaciales se expresó como la contribución porcentual de biomasa en las distancias horizontales medidas a partir de la base del tallo, en las dos profundidades, y se representó de manera gráfica utilizando el programa ArcGIS® 10.3, con los promedios de biomasa obtenidos en el volumen de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa, densidad y distribución de las raíces de las plantas de café

La biomasa y la densidad de raíces finas y totales obtenidas en un volumen de 0,015 m³ se analizaron en las diferentes distancias horizontales tomadas a partir de la base del tallo y las dos profundidades en el perfil del suelo, dentro

del área de muestreo correspondiente a cada arreglo espacial del cultivo.

Arreglo espacial 1,0 m x 1,0 m. Entre 0 y 25 cm de profundidad del suelo y en los primeros 25 cm de distancia horizontal medida desde la base del tallo, la densidad de raíces con diámetro inferior o igual a 5 mm fue de 1.047,88 g m⁻³, este valor se redujo en un 38% en la distancia horizontal de 25 a 50 cm. En la profundidad de 25 a 50 cm, la densidad de raíces finas en los primeros 25 cm de distancia horizontal, presentó una disminución del 65% respecto al valor de la primera profundidad (Tabla 1).

La densidad de raíces totales en la profundidad de 0 a 25 cm y una distancia horizontal de 0 a 25 cm, medida a partir de la base del tallo, fue de 3.646,68 g m⁻³, al aumentar la distancia horizontal de 25 a 50 cm este valor disminuyó en un 81%. En la profundidad de 25 a 50 cm la densidad de raíces totales en los primeros 25 cm de distancia horizontal, presentó una disminución del 87% respecto al valor de la primera profundidad (Tabla 2).

Tabla 1. Densidad y biomasa de raíces finas en café variedad Castillo® con el arreglo espacial 1,0 x 1,0 m, en el área de terreno ocupada por árbol.

Profundidad (cm)	Distancia horizontal (cm)	Número de muestras (n)	Biomasa de raíces (g)	Coefficiente de variación (%)	Densidad de raíces (g m ⁻³)
0-25	0-25	16	16,37	21,87	1.047,88
	25-50	48	10,10	31,36	646,15
25-50	0-25	16	5,65	32,18	361,84
	25-50	48	3,35	16,11	214,33

Tabla 2. Densidad y biomasa total de raíces en café variedad Castillo® con el arreglo espacial 1,0 x 1,0 m, en el área de terreno ocupada por árbol.

Profundidad (cm)	Distancia horizontal (cm)	Número de muestras (n)	Biomasa de raíces (g)	Coefficiente de variación (%)	Densidad de raíces (g m ⁻³)
0-25	0-25	16	56,98	25,10	3.646,68
	25-50	48	10,67	34,06	682,87
25-50	0-25	16	7,32	48,45	468,20
	25-50	48	3,39	18,55	217,24

El análisis de varianza para la densidad de raíces en el arreglo espacial 1,0 x 1,0 m mostró efecto de la interacción distancia horizontal y profundidad ($p=0,0001$). La mayor densidad de raíces totales se presentó en la distancia horizontal de 25 cm, medidos a partir de la base del tallo, y a una profundidad de 25 cm, según prueba contraste al 5%. Por el contrario, a una distancia horizontal comprendida entre 25 y 50 cm para ambas profundidades, los valores de densidad de raíces no difieren entre sí (Figura 3).

La biomasa de raíces en el área de evaluación equivalente a 1,0 m² se distribuyó de la siguiente manera:

- En la profundidad comprendida desde la superficie del suelo hasta los 25 cm y en los primeros 25 cm de distancia horizontal, medida a partir de la base del tallo, se obtuvo el 46,2% de las raíces finas y el 72,7% de las raíces totales.
- En la distancia horizontal comprendida desde los 25 hasta los 50 cm, el 28,5% correspondió a las raíces finas y el 13,6% de las raíces totales.
- En la segunda profundidad desde los 25 hasta los 50 cm, la distancia horizontal de 25 cm, medida a partir de la base del tallo,

representó el 15,9% de las raíces finas y el 9,3% de las raíces totales.

- En la distancia horizontal desde los 25 cm hasta los 50 cm, se obtuvo el 9,4% de las raíces finas y el 4,3% de las raíces totales.

La proporción de raíces totales acumulada en los primeros 25 cm de profundidad fue del 86,3% y el restante 13,7% entre los 25 y 50 cm de profundidad. La biomasa radical en un metro cuadrado de terreno, hasta una profundidad de 50 cm, fue en promedio 425,95 g. En la Figura 4 se muestra la distribución espacial de la biomasa de raíces para cada distancia horizontal medida a partir de la base del tallo en las dos profundidades, con los rangos y los valores extremos registrados.

Arreglo espacial 1,0 m x 2,0 m. La densidad de las raíces clasificadas como finas, a una profundidad de 0 a 25 cm, fluctuó entre 603,76 g m⁻³ y 1.868,64 g m⁻³. Con relación al máximo valor, se presentó una disminución del 29% en la distancia horizontal de 25 a 50 cm y del 67% cuando se tomaron muestras entre los 75 y 100 cm. En la profundidad de 25 a 50 cm se presentó una disminución del 71% en la variable para la distancia horizontal de 0 a 25 cm, respecto al valor de la primera profundidad (Tabla 3).

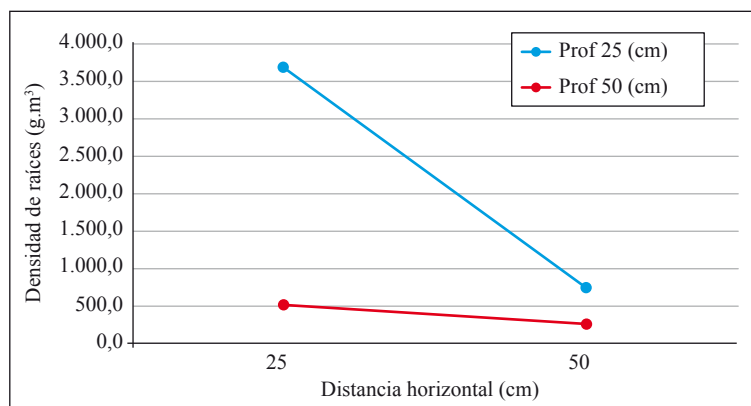


Figura 3. Densidad de raíces totales para las distancias horizontales y profundidades del arreglo espacial 1,0 m x 1,0 m.

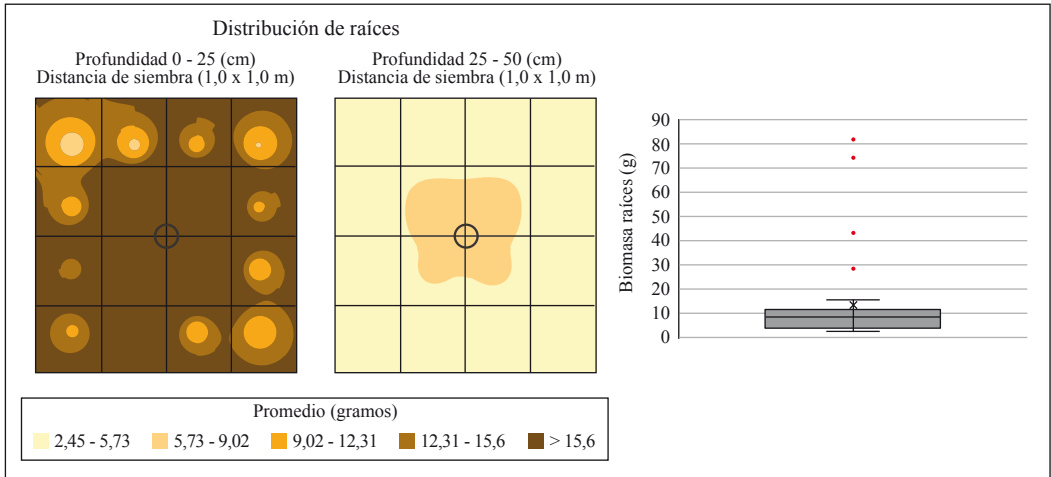


Figura 4. Distribución de la biomasa de raíces en el arreglo espacial 1,0 m x 1,0 m, en las profundidades comprendidas de 0 a 25 cm y 25 a 50 cm. (El círculo central en la imagen representa el tallo del café y la figura de cajas los valores extremos registrados).

Tabla 3. Densidad y biomasa de raíces finas en café variedad Castillo® con el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m, en el área de terreno ocupada por árbol.

Profundidad (cm)	Distancia horizontal (cm)	Número de muestras (n)	Biomasa de raíces (g)	Coefficiente de variación (%)	Densidad de raíces (g m ⁻³)
0-25	0-25	16	29,20	17,36	1.868,64
	25-50	48	20,61	26,52	1.319,32
	50-75	32	13,37	21,39	855,62
	75-100	32	9,43	17,65	603,76
25-50	0-25	16	8,38	27,78	536,60
	25-50	48	4,96	7,99	317,19
	50-75	32	3,23	14,13	207,02
	75-100	32	2,27	10,77	145,14

La densidad de raíces totales registró valores entre 603,76 y 5.415,72 g m⁻³ en la profundidad comprendida de 0 a 25 cm del suelo, con una disminución del 71% al aumentar la distancia horizontal de 25 a 50 cm. En la profundidad de 25 a 50 cm la densidad de raíces fluctuó entre 145,14 y 644,12 g m⁻³, con una disminución del 88% en la variable para la distancia horizontal de 0 a 25 cm, respecto al valor de la primera profundidad (Tabla 4).

El análisis de varianza para la variable densidad de raíces en el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m mostró efecto de la interacción distancia horizontal y profundidad ($p = <0,0001$). La Figura 5 muestra como a una distancia horizontal de 25 cm, desde la base del tallo, y en la menor profundidad evaluada (25 cm) se encuentra la mayor densidad de raíces (g m⁻³), según prueba de contraste al 5%. Por el contrario, en las distancias horizontales superiores a 50

Tabla 4. Densidad y biomasa total de raíces en café variedad Castillo® con el arreglo espacial 1,0 x 2,0 m, en el área de terreno ocupada por árbol.

Profundidad (cm)	Distancia horizontal (cm)	Número de muestras (n)	Biomasa de raíces (g)	Coefficiente de variación (%)	Densidad de raíces (g m ⁻³)
0-25	0-25	16	84,62	22,28	5.415,72
	25-50	48	24,17	37,09	1.547,06
	50-75	32	13,43	22,19	859,52
	75-100	32	9,43	17,65	603,76
25-50	0-25	16	10,06	38,30	644,12
	25-50	48	5,15	10,93	329,49
	50-75	32	3,23	14,13	207,02
	75-100	32	2,27	10,77	145,14

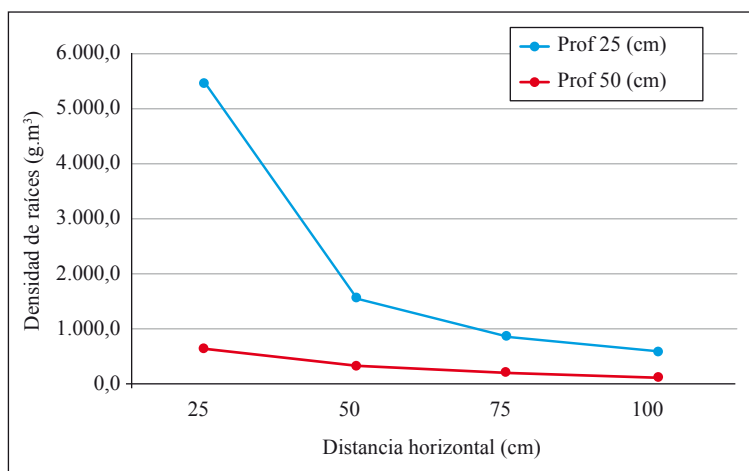


Figura 5. Densidad de raíces totales para las distancias horizontales y profundidades del arreglo espacial 1,0 m x 2,0 m.

cm, la densidad de raíces totales no difiere entre las profundidades.

La biomasa de raíces en el área de evaluación, equivalente a 2,0 m² para este arreglo, se distribuyó de la siguiente manera:

- En la profundidad comprendida de 0 a 25 cm, con una distancia horizontal de 25 cm medida a partir de la base del tallo, se obtuvo el 31,9% de las raíces finas y el 55,5% de las raíces totales.
- En la distancia horizontal desde los 25 hasta los 50 cm, se encontró el 22,5% de las raíces finas y el 15,9% de las raíces totales.
- Para la distancia horizontal entre 50 y 75 cm los valores de biomasa representaron el 14,6% de las raíces finas y un 8,8% de las raíces totales.
- En la distancia de 75 a 100 cm el 10,3% de las raíces finas y el 6,2% de las raíces totales.

La distribución de la biomasa radical representó para la profundidad de 25 a 50 cm:

- El 9,2% de las raíces finas y 6,6% de raíces totales extraídas en los primeros 25 cm de distancia horizontal.
- Entre los 25 y 50 cm de distancia horizontal el 5,4% de las raíces finas y el 3,4% de raíces totales.
- Para la distancia de 50 a 75 cm el 3,5% de las raíces finas y el 2,1% de raíces totales.
- De 75 a 100 cm el 2,5% de las raíces finas y el 1,5% de raíces totales.

La proporción de raíces totales acumulada en los primeros 25 cm de profundidad fue del 86,4% y el restante 13,6% se encontró distribuido entre los 25 y los 50 cm (segunda profundidad). En la distancia horizontal desde la base del tallo hasta los 50 cm y desde la superficie hasta los 25 cm de profundidad, se encontró el 71,4% de las raíces totales. La biomasa radical registrada en un área de

terreno equivalente a 1,0 m² desde la superficie del suelo hasta los 50 cm de profundidad fue en promedio de 478,77 g. La distribución espacial de la biomasa de raíces obtenida en cada distancia horizontal y en cada profundidad se ilustra en la Figura 6.

La distribución de la biomasa radical registrada en esta investigación, para los dos arreglos espaciales del cultivo de café, mostró correspondencia con los trabajos realizados por Vargas *et al.* (2006) al observar la mayor concentración de raíces de café (*C. arabica* L.) Catuai hasta una profundidad de 20 cm, y también con lo reportado por Rodrigues *et al.* (2001) quienes encontraron en árboles de café disminución de la cantidad de raíces en las capas más profundas del suelo. A una menor profundidad Ronchi *et al.* (2015) en *C. arabica* L. y Partelli *et al.* (2014) en café variedad Conilon (*C. canephora*) muestran la mayor proporción de raíces en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, mientras que los estudios realizados por Suárez de Castro (1953) y Trancoso (1960) determinaron que

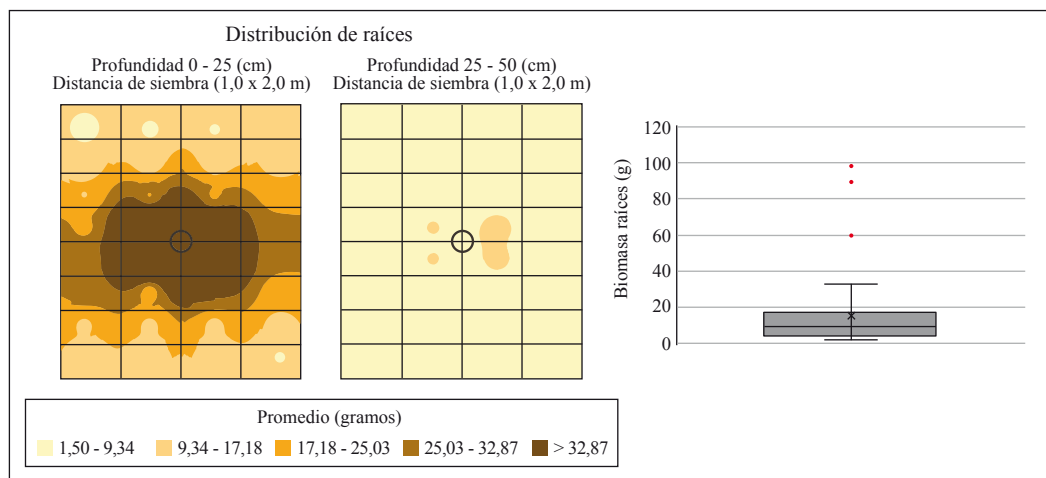


Figura 6. Distribución de la biomasa de raíces en el arreglo espacial 1,0 m x 2,0 m en las profundidades comprendidas de 0 a 25 cm y 25 a 50 cm. (El círculo central en la imagen representa el tallo del café y la figura de cajas los valores extremos registrados).

el mayor porcentaje de raíces en el cultivo de café se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad desde la superficie del suelo.

En un plano horizontal del suelo, Silva *et al.* (2016) y Carducci *et al.* (2015) indican que la mayor concentración de raíces se encuentra en las zonas más cercanas al tallo principal, disminuyendo progresivamente del tronco hacia la periferia. Bajo las condiciones de los arreglos espaciales evaluados en esta investigación el patrón de distribución de raíces conservó la misma tendencia.

Al considerar un área de 1,0 m² de superficie y la profundidad total en la que se hizo la extracción de las raíces de las plantas de café, en los dos arreglos espaciales de 1,0 x 1,0 m y 1,0 x 2,0 m, la biomasa de raíces registrada fue de 425,95 y 478,77 g, respectivamente. Estos valores de biomasa radical se asemejan a los obtenidos por Arcila (1987) en plantas de café de cinco años de edad, con las variedades Caturra y Colombia, en las cuales se registraron 486,6 y 475,1 g respectivamente.

Con base en los resultados de esta investigación pudo concluirse que la mayor densidad de raíces finas y totales se obtuvo en la profundidad comprendida desde la superficie del suelo hasta los 25 cm y en la distancia horizontal medida desde la base del tallo hasta los primeros 25 cm, con disminución de estos valores al ampliarse la profundidad y las distancias horizontales.

Para los planes de nutrición edáfica en plantaciones de café de cuatro o cinco años de edad, se podría indicar como la zona más adecuada para la disposición del fertilizante sobre la superficie del suelo, una distancia de 25 cm desde la base del tallo, que corresponde a la zona donde se encuentra la mayor cantidad de raíces finas y totales.

El área de terreno que representa esta zona de mayor densidad de raíces debe permanecer libre de la competencia de arvenses, implementando prácticas de manejo integrado que minimicen el daño mecánico al sistema radical y las limitaciones que puede presentar el desarrollo de la raíz (Arcila, 1992). Así mismo para realizar diagnósticos relacionados con el monitoreo de plagas, enfermedades y el estado de desarrollo de la raíz, las muestras deberían tomarse hasta una profundidad máxima de 25 cm y una distancia horizontal desde la base del tallo y máxima de 50 cm, considerando la proporción de raíces que se encuentran allí.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los colaboradores de la Estación Experimental Naranjal, al ingeniero agrónomo Jhon Félix Trejos, a la disciplina de Biometría y a los Auxiliares de Investigación Carlos Augusto Ramírez y Jonnier Alejandro Hoyos.

LITERATURA CITADA

- Anim-Kwapong., G.J., Anim-Kwapong, E. y Oppong, F.K. (2010). Evaluation of some robusta coffee (*Coffea canephora* pierre ex a. Froehner) clones for optimal density planting in Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, 5(1), 84-89. Recuperado de http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380800006_Anim-Kwapong%20et%20al.pdf.
- Arcila P., J. (1987). Aspectos fisiológicos de la producción de café *Coffea arabica* L. En *Tecnología del Cultivo del café* (p. 59-111). Chinchiná: Cenicafé.
- Arcila P., J. (1992). *Factores que limitan el desarrollo de las raíces del café*. (Avance Técnico No. 176). Manizales: Cenicafé.
- Arcila P., J., Riaño H., N.M. (1991). *Desarrollo de las raíces de las variedades Caturra y Colombia*. (Avance Técnico No. 167). Manizales: Cenicafé.

- Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Curi, N., Heck, R.J., Rossoni, D.F., Carvalho, T.S. y Costa, A.L. (2015). Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. *Soil and Tillage Research*, 145, 171-180. doi: 10.1016/j.still.2014.09.015.
- Carducci, C.E., Oliveira, G.C., Lima, J.M., Rossoni, D.F., Costa, A.L. y Oliveira, L.M. (2014). Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 270-278. Recuperado de <http://www.sbcife.ufv.br/handle/123456789/10551>.
- Carvalho, G.R., Guimaraes M., A.N., Ferreira B., G., Nogueira, A.M. y Aparecido A., M. (2006). Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, 30, 838–843. Recuperado de <http://www.sbcife.ufv.br/handle/123456789/7938>.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (1969). *Manual del Cafetero Colombiano*. (3 ed.). Bogotá: FNC.
- Garriz, P.I. (1979). Distribución radicular de tres cultivares de *Coffea arabica* L. en un suelo limo-arcilloso. *Agromonía Tropical*, 29(1), 91-103.
- Gómez G., R., Palma L., D.J., Obrador O., J.J. y Ruiz R, O. (2018). Densidad radical y tipos de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 203–215. doi: 10.19136/era.a5n14.1278.
- Martins P, E., Furlani J, E. y Fazuoli, L.C. (2005). Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. *Bragantia*, 64(3), 397-409. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/%0D/brag/v64n3/26433.pdf>.
- Partelli, F.L., Covre, A.M., Oliveira, M.G., Alexandre, R.S., Vitória, E.L.D. y Silva, M.B.D. (2014). Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(5), 349-355. doi:10.1590/S0100-204X2014000500004.
- Prieto M, H.E., Silva A, H., Damião C, C., Woods P, A., Ferreira S, N. (2007). Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29(4), 481-489. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3030/303026575007.pdf>.
- Rodrigues, L.A., Martínez, H.E.P., Neves, J.C.L., Novais, R.F. y Mendonça, S.M. (2001). Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. *Plant and Soil*, 234(2), 207-214. doi:10.1023/A:1017999318532.
- Ronchi, C.P., Sousa Júnior, J.M., Almeida, W.L., Souza, D.S., Silva, N.O., Oliveira, L.B., Guerra, A.M.N. y Ferreira, P.A. (2015). Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(3), 187-195. doi:10.1590/S0100-204X2015000300001.
- Salamanca J., A. y Sadeghian K., S. (2004). *La densidad aparente en suelos de la zona cafetera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto*. (Avance Técnico No. 326). Manizales: Cenicafé.
- Silva B., V.L. y Martins S., P.F. (2010). Propriedades físicas do solo e sistema radicular do cafeeiro, variedade conilon, sob diferentes espaçamentos. *Revista de Ciências Agrárias*, 1(53), 96–101. doi.org/10.4322/rca.2011.013.
- Silva, É.A., Godinho S, S.H., Oliveira, G.C. y Carducci, C.E. (2016). Root spatial distribution in coffee plants of different ages under conservation management system. *African Journal of Agricultural Research*, 11(49), 4970-4978. doi:10.5897/AJAR2016.11356.
- Suárez de C., F. (1953). *Distribución de las raíces del Coffea arabica L. en un suelo franco-limoso*. (Boletín Técnico No. 12). Manizales: Cenicafé.
- Trancoso V, J.A. (1960). O estudo do sistema radicular do cafeeiro em Angola. *Revista do Café Português*, 8(29), 101-106.
- Vargas M, A.C., Andreas N, J., Tiemi Y, G. y Monte S., B. (2006). Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. *Acta Scientiarum. Agronomy*, (28)4, 455-463. doi:10.4025/actasciagron. v28i4.758 .