


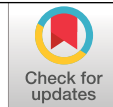


EFECTO DE LA RENOVACIÓN POR ZOCA Y PODAS EN LA BIOMASA DE RAÍCES DE CAFÉ

José Raúl Rendón Sáenz *, Ángela María Grajales **, Hugo Mauricio Salazar Echeverry ***

Rendón, J. R., Grajales, A. M., & Salazar, H. M. (2023). Efecto de la renovación por zoca y podas en la biomasa de raíces de café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74105. <https://doi.org/10.38141/10778/74105>



La raíz del café cumple funciones de soporte, absorción de agua y nutrientes necesarios para el crecimiento y la producción. Con el objetivo de evaluar la biomasa de raíces de café en diferentes tipos de renovación, se tomaron muestras cada tres meses, durante un año, en 30 árboles seleccionados de forma aleatoria por cada evaluación. Las muestras de suelo y raíces fueron extraídas a 25 y 50 cm de distancia horizontal, desde la base del tallo, en los primeros 20 cm desde la superficie. Se seleccionaron aquellas raíces con diámetro inferior o igual a 3 mm y se clasificaron en vivas o muertas. Para zoca común, poda pulmón y poda calavera¹, se encontraron diferencias significativas en la cantidad de biomasa de raíces vivas, tanto a 25 cm como a 50 cm, al comparar los promedios de la fecha inicial y después de la renovación, similar respuesta se encontró al analizar la composición de raíces totales (vivas y muertas). La mayor eliminación de tejido aéreo en las plantas renovadas condujo a la disminución de la biomasa de raíces en el primer año, no obstante, el desarrollo de nuevas raíces se observó a medida que las plantas aumentaron la edad, recuperando hasta un 74% de la biomasa inicial en árboles de zoca común de dos años. De forma complementaria la producción de café en un período de cinco años, presentó para la zoca común un valor acumulado de 50.865 kg de café cereza, superior al registrado con los otros tipos de renovación.

Palabras clave: Podas, crecimiento raíz, producción, *Coffea arabica*, Cenicafé.

EFFECT OF RENEWAL BY STUMPING AND PRUNING ON COFFEE ROOT BIOMASS

Coffee roots support the plant and absorb the water and nutrients necessary for growth and production. In order to evaluate coffee roots biomass in different types of renewal, root samples were taken every three months for a year in 30 randomly selected trees for each evaluation. Soil and root samples were extracted at a distance of 25 and 50 cm horizontal from the base of the stem in the first 20 cm from the surface. Roots with a ≤ 3 mm diameter were selected and classified as alive or dead. For conventional stumping, "lung" pruning and "skull" pruning, significant differences in the amount of live root biomass at 25 cm and 50 cm were found when comparing the averages of the initial date and those obtained after the renovation. There were similar results in the composition analysis of total roots (live and dead). The greater removal of aerial tissue in the renewed plants caused a decrease in root biomass in the first year; however, the development of new roots was observed as the plants increased in age and up to 74% of the initial biomass in conventional two-year old stumped trees was recovered. Likewise, coffee production in a 5-year period showed a cumulative value of 50.865 kg of coffee fruits for the conventional stump, higher than that recorded with other renewal types.

Keywords: Pruning, root growth, production, *Coffea arabica*, Cenicafé.

* Investigador Científico I. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

** Ing. Agrónomo. Servicio de Extensión, Comité de Cafeteros del Quindío. <https://orcid.org/0000-0002-4789-4748>

*** Investigador Científico II. Disciplina de Economía, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>



En Colombia, los sistemas de producción de café establecidos a libre exposición solar o en sistemas agroforestales cumplen su ciclo después de registrar entre cinco y siete años de edad. A partir de este momento las plantas se envejecen y la cantidad de café cosechado declina, debido a la disminución en la tasa de formación de ramas y nudos, y la competencia con las plantas vecinas, en especial por auto sombreadamiento (Ramírez y Moreno, 2013).

Para renovar plantaciones envejecidas se realizan prácticas de zoqueo o podas, con el fin de estimular nuevo tejido vegetal y recuperar la capacidad productiva de las plantas (Gokavi et al., 2021). Existen diferentes tipos de renovación con variación en la altura del corte del tallo y la cantidad de tejido aéreo que se mantiene en la planta (Rendón, 2016). En la zoca tradicional todas las ramas se eliminan y el tallo se corta a una altura de 30 cm desde la superficie del suelo, en otros tipos de renovación menos drásticas como la poda pulmón, el tallo se corta a 60 cm y se dejan las ramas bajas con despunte, en la poda calavera los tallos conservan una altura de 1,8 m y una longitud de ramas de 10 cm aproximadamente, estos dos últimos tipos de poda tienen un período de producción limitado a dos años de cosecha, por lo tanto, son recomendados con el propósito de ordenar las edades en un sistema de manejo por lotes, para estabilizar la producción de acuerdo con la duración de los ciclos (Ramírez y Moreno, 2013; Rendón, 2016).

La respuesta de las plantas de café a cada tipo de poda tiene implicaciones sobre las prácticas agronómicas del cultivo, por ejemplo, mantener la densidad de siembra inicial a través de la resiembra de colinos en los sitios faltantes cuando se realiza el zoqueo (Moreno, 2010), y regular la cantidad de tallos por planta, realizando la selección de brotes (Rendón, 2016). Cuando las plantas de café son renovadas,

estas inician el nuevo crecimiento vegetativo a expensas de las reservas que quedan en el tejido no intervenido (Rutte et al., 2014), consecuentemente las yemas ubicadas en los nudos del tallo o en los nudos de las ramas inducen la formación de nuevas estructuras aéreas, condicionando el balance en la dinámica de crecimiento del sistema radical (Alves et al., 2011; Mesquita et al., 2009).

La raíz es uno de los órganos de mayor importancia para las plantas, por lo tanto, en las etapas de crecimiento del cultivo de café, las raíces cumplen funciones vitales como la absorción, el transporte de agua y minerales, y el anclaje, determinantes al momento de evaluar niveles de respuesta a la nutrición (Amaral et al., 2011); así como en la definición de las épocas de aplicación del fertilizante (Salazar y Sadeghian, 2016). En cultivos perennes una mejor condición del sistema radical se asocia con los mayores rendimientos; en *Vitis vinifera* por ejemplo, se obtuvieron las mayores producciones asociadas a una mayor cantidad de raíces totales y alta presencia de raíces finas (Callejas et al., 2012).

Diferentes estudios realizados en el cultivo de café describen el crecimiento de la raíz en función del manejo agronómico, a partir de la evaluación de variedades (Partelli et al., 2014), tipos de suelo (Carducci et al., 2014; Gómez et al., 2018), condiciones de riego (Covre et al., 2015), fertirriego (Vicente et al., 2017), densidad de siembra (Ronchi et al., 2015) y arreglos espaciales (Rendón y Giraldo, 2019). A pesar de estos avances sobre características del sistema radical, son limitados los estudios que demuestran el efecto de las podas de la planta sobre el crecimiento de este importante órgano.

Para describir las raíces del café se citan algunos criterios asociados al diámetro y a

la funcionalidad. En cuanto al diámetro se categorizan como raíces finas o absorbentes aquellas con menos de 1 mm, raíces medias entre 1,0 y 3,0 mm y raíces gruesas con diámetros superiores a 3,0 mm (Gómez et al., 2018); en los estudios de raíces también se considera importante diferenciar entre las categorías vivas y muertas (Gutiérrez et al., 2014).

Gutiérrez et al. (2014) indican que, a partir del estudio de la biomasa de raíces, es posible conocer el estado funcional de las plantas, la capacidad para absorción de agua y nutrimentos, la competencia por presencia de plagas y enfermedades y el efecto de prácticas de manejo en el cultivo. Es así como Salazar y Sadeghian (2016), con base en la pérdida de raíces asociada a la renovación del cultivo de café a través de zoca común, determinaron condiciones limitantes para responder de forma eficiente a la nutrición, en los primeros meses de edad de las plantas, posterior al zoqueo.

El conocimiento de la distribución de raíces del cultivo de café, ha sido aplicado para indicar estrategias de manejo de la nutrición, por ejemplo, para determinar el sitio de aplicación del fertilizante. Diferentes herramientas como el diagnóstico de imágenes y la geoestadística hacen posible interpretar la dinámica de las raíces en el perfil del suelo y buscar relaciones con el suelo, los nutrientes y el agua (Schmidt et al., 2022).

La relación que puede existir entre un buen desarrollo del sistema de raíces y la producción del cultivo, es una de las razones que sustenta la importancia de conocer con mayor detalle la respuesta del crecimiento de la raíz, en función de algunas prácticas de manejo como la renovación de los cafetales. Para dar alcance a este propósito, en esta investigación se planteó como objetivo evaluar el efecto de los métodos de renovación por

zoca y podas en la biomasa de raíces de café en plantaciones de variedad Castillo®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se llevó a cabo en la granja El Agrado, ubicada en el municipio de Montenegro Quindío (4° 31' N y 75° 48' W), altitud 1.275 m, precipitación histórica promedio de 2.110 mm año⁻¹, temperatura media de 21,75°C y suelos derivados de ceniza volcánica, Unidad Montenegro. Para la evaluación se seleccionó un lote de *Coffea arabica* variedad Castillo® de 5 años de edad, establecido con un arreglo espacial de 1,2 m x 2,0 m y una densidad de 4.166 plantas por hectárea.

Diseño experimental y tratamientos. Se aplicaron cuatro métodos de renovación: (I) zoca común o tradicional con eliminación total de las ramas y corte del tallo a 30 cm desde la superficie del suelo; (II) poda pulmón con corte del tallo a 60 cm desde la superficie del suelo y despunte de ramas a 40 cm de longitud; (III) poda calavera 1 con descope del tallo a 1,80 m de altura y despunte de ramas entre 5 y 10 cm de longitud; y (IV) poda calavera 2 con descope del tallo a 1,80 m de altura y despunte de ramas a 40 cm de longitud; cada método de renovación tuvo un área de 3.000 m² asignada de forma aleatoria. La investigación fue de tipo exploratoria, descriptiva, con una estructura de muestreo aleatorio.

Determinación de la biomasa de raíces. Antes de aplicar cada uno de los métodos de renovación en plantas de 5 años de edad (primera fecha de muestreo) y hasta un año después de las intervenciones, cada trimestre (fechas de muestreo) se extrajeron muestras de raíces en 30 árboles seleccionados aleatoriamente (diferentes en cada fecha), para registrar la biomasa de raíces vivas (variable de interés) y las raíces totales (variable complementaria), por

tipo de renovación. El número de unidades de muestreo en cada fecha fue determinado con los siguientes criterios estadísticos: cuadrado medio del error CME de 0,87 asociado a un peso seco de raíz promedio de 1,57 g, una diferencia mínima significativa de 0,60 g, un nivel de significancia del 5% y una potencia > 80%.

Las muestras de raíces fueron extraídas utilizando un cilindro de acero de 20 cm de longitud, un diámetro interno de 8 cm y un volumen por muestra de 1.005,3 cm³ con base en la metodología propuesta por Salazar y Sadeghian (2016). En cada árbol seleccionado para la muestra se tomaron dos puntos de muestreo, el primero a 25 cm desde la base del tallo y el segundo a 50 cm localizados en dirección hacia la calle (distancia entre surcos), para introducir el cilindro a una profundidad de 20 cm. Sobre la superficie del suelo donde se tomaron las muestras, se retiró previamente todo el material vegetal de arvenses, chapolas (plántulas de café emergidas), hojas y ramas.

Luego de extraer el cilindro, cada muestra fue sumergida en un recipiente con agua para separar el suelo y las impurezas de las raíces, con ayuda de un tamiz de 1 mm, en seguida se seleccionaron las raíces con diámetro menor o igual a 3 mm y se clasificaron en las categorías vivas (tejido de color claro, alta densidad en agua, firme y flexible) y muertas (tejido necrosado o en descomposición que se rompe fácilmente al doblarlo y con la peridermis suberizada), posteriormente las raíces fueron llevadas a secado en horno a 70°C hasta lograr su peso seco constante. Para el registro del peso seco, se utilizó una balanza electrónica marca Mettler Toledo PB3002-5, con una aproximación de medida de 0,01 g.

Complementario a las evaluaciones en cada uno de los métodos de renovación descritos, se registró la producción de café cereza en

las respectivas áreas de estudio durante cinco años. La renovación con poda pulmón y calavera 1 se hizo cada tres años, es decir, durante los cinco años se registraron tres años en producción y dos años en crecimiento vegetativo, correspondientes al primer y el cuarto año de estudio. En el caso de la poda calavera 2, esta renovación se hizo cada dos años, es decir, durante los cinco años se registraron dos años en producción y tres años en crecimiento vegetativo. En la zoca tradicional se registraron cuatro años en producción y un año de crecimiento vegetativo.

Análisis de la información. A través del programa SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.4 (SAS institute, 2012) y herramientas de análisis de datos en Microsoft Excel 2016, para cada método de renovación, punto de muestreo y fecha de muestreo se estimó el promedio y error estándar, tanto con la variable de interés como la complementaria. Para cada método de renovación y fecha de muestreo se compararon los promedios de la variable de interés en los dos puntos de muestreo, con el estadístico de prueba t-student (5%). Así mismo, para cada método de renovación, se compararon cada una de las fechas de muestreo después de la intervención, con la primera fecha de muestreo, según el estadístico de prueba t-student (5%). Finalmente, en cada fecha de muestreo, los métodos de renovación fueron descritos a través de intervalos de confianza al 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa de raíces de café en diferentes métodos de renovación

A partir de las muestras de raíces extraídas en las dos distancias horizontales, desde la base del tallo y a una profundidad de 20 cm, pudo caracterizarse el crecimiento de este órgano vegetal (biomasa de raíces) antes de la

renovación en plantas de café de cinco años de edad y después de aplicar los métodos de poda y zoca de los árboles.

Biomasa de raíces vivas

La biomasa de raíces vivas registrada antes de realizar la renovación, en plantas de café de cinco años de edad (tiempo 0), fue igual estadísticamente $Pr > F$ (0,6016) y (0,4080), al comparar los promedios obtenidos a 25 cm y 50 cm de distancia horizontal desde la base del tallo, respectivamente, en las cuatro poblaciones evaluadas. El análisis indica que las condiciones iniciales del sistema radical fueron similares para el cultivo en el área de estudio y se descartó la necesidad de establecer

este factor como covariable en la investigación (Figura 1).

Al comparar la biomasa de raíces vivas obtenida antes de la renovación (fecha inicial) y la registrada en las evaluaciones sucesivas, realizadas cada trimestre en plantas de café intervenidas con los diferentes métodos de renovación, se obtuvieron diferencias significativas para los promedios de las poblaciones intervenidas mediante zoca común, poda pulmón y poda calavera 1, tanto a 25 cm como a 50 cm (Tablas 1 y 2). Estos métodos de renovación afectan el crecimiento de la raíz de la planta durante el primer año de crecimiento, provocando la disminución de la biomasa respecto al valor del tiempo cero.

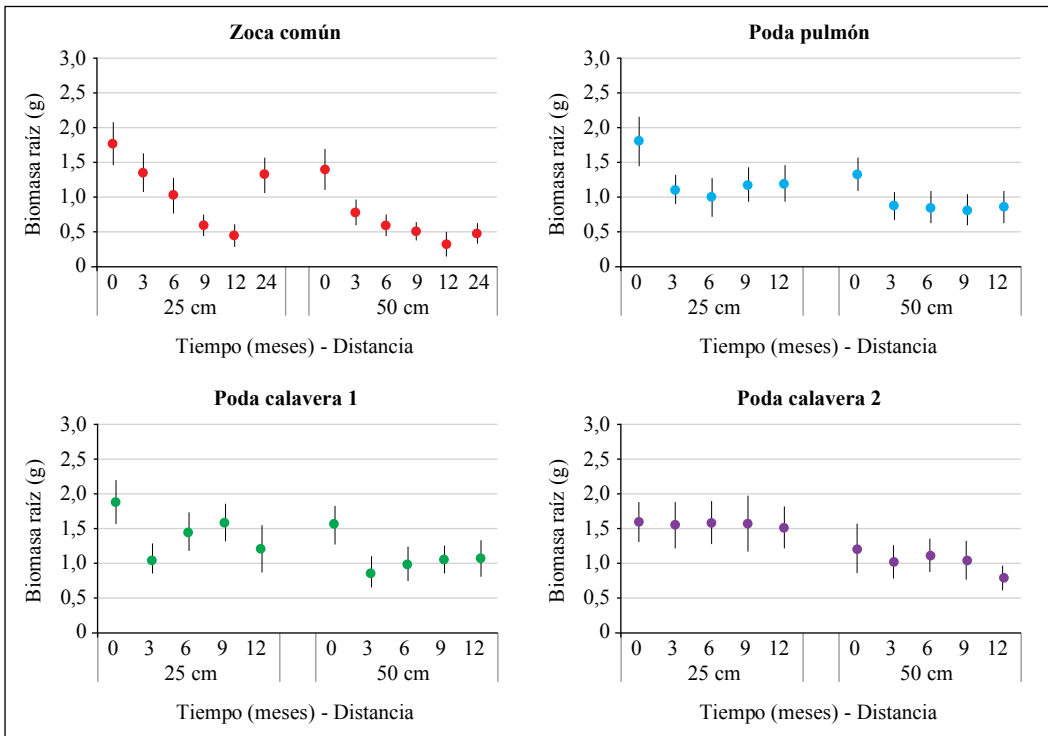


Figura 1. Promedio e intervalos de confianza al 95% para la biomasa de raíces vivas en plantas de café Variedad Castillo® bajo diferentes tipos de poda de renovación. Nota: se tomó una muestra adicional a los 24 meses en zoca común.

Tabla 1. Promedio de la biomasa de raíces vivas (g) y valores de P, a una distancia horizontal de 25 cm desde la base del tallo, en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación.

Tiempo (meses)	Zoca común		Poda pulmón		Poda calavera 1		Poda calavera 2	
	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value
3	1,35	0,0386*	1,11	0,0014*	1,08	0,0001*	1,55	0,8265
6	1,02	0,0003*	0,99	0,0006*	1,47	0,0457*	1,59	0,9808
9	0,59	0,0001*	1,18	0,0050*	1,60	0,1624	1,57	0,9120
12	0,44	0,0001*	1,19	0,0075*	1,21	0,0042*	1,52	0,6949
24	1,32	0,0084*						

Comparación de las fechas de muestreo con la inicial para cada método de renovación, según prueba t al 5%. (*) Indica diferencias significativas. Nota: se tomó una muestra adicional a los 24 meses en zoca común.

Tabla 2. Promedio de la biomasa de raíces vivas (g) y valores de P a una distancia horizontal de 50 cm desde la base del tallo, en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación.

Tiempo (meses)	Zoca común		Poda pulmón		Poda calavera 1		Poda calavera 2	
	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value
3	0,78	0,0006*	0,87	0,0053*	0,88	0,0003*	1,02	0,3622
6	0,60	0,0001*	0,85	0,0053*	1,00	0,0028*	1,11	0,6613
9	0,50	0,0001*	0,82	0,0025*	1,06	0,0041*	1,04	0,4267
12	0,32	0,0001*	0,86	0,0057*	1,08	0,0128*	0,79	0,0372
24	0,47	0,0001*						

Comparación de las fechas de muestreo con la inicial para cada método de renovación, según prueba t al 5%. (*) indica diferencias significativas. Nota: se tomó una muestra adicional a los 24 meses en zoca común.

El método de renovación por medio de poda calavera 2, con despunte de las ramas a 40 cm de longitud y corte del tallo a 1,80 m, no presentó diferencias significativas entre la biomasa de raíces vivas registrada en la fecha inicial y la obtenida en evaluaciones posteriores, conservando la mayor proporción de biomasa radical (raíces vivas) en comparación con los demás tipos de renovación, 95% a 25 cm y 77% a 50 cm, un año después de la intervención (Tablas 1 y 2).

En zoca común la biomasa de raíces vivas un año después de la renovación, conservó

el 25% del valor promedio registrado en las plantas de café de cinco años de edad. En vista de este resultado, se decidió tomar una muestra adicional dos años después de la renovación por zoca, al cabo de este tiempo la biomasa de raíces vivas obtenida a 25 cm de distancia horizontal desde la base del tallo mostró recuperación, alcanzando un 74% del valor registrado en la fecha inicial, logrando un incremento de tres veces el promedio obtenido en el primer año (Tabla 1).

Al comparar la biomasa de raíces vivas de la zoca común a 25 cm de distancia desde la

base del tallo, con los diferentes métodos de renovación, las podas calavera 1 y 2 registraron los mayores promedios seis meses después de la intervención, conservando las diferencias a los nueve y doce meses, mientras que la poda pulmón registró diferencias significativas con la mayor biomasa de raíces a los nueve y doce meses, respectivamente (Tabla 3). En esta distancia de muestreo las reducciones de la biomasa de raíces en relación a la fecha inicial, luego de seis meses, presentaron un 43% en zoca común, 45% en poda pulmón, 23% en calavera 1 y 1% en calavera 2. Después de nueve meses, se registraron reducciones del 67% en zoca común, 35% en poda pulmón, 12% en calavera 1 y 2% en calavera 2 (Tabla 3).

En la distancia horizontal de 50 cm desde la base del tallo, igual a lo reportado con las muestras tomadas a 25 cm de distancia, las podas calavera 1 y 2 registraron los mayores promedios en la biomasa de raíces vivas seis meses después de la intervención, conservando las diferencias a los nueve y doce meses, mientras que la poda pulmón registró diferencias significativas con la mayor biomasa de raíces a los nueve y doce meses, respectivamente (Tabla 4). Para esta distancia, las reducciones de la biomasa de raíces en relación a la fecha inicial, presentaron luego de nueve meses un 65% en zoca común, 39% en poda pulmón, 32% en calavera 1 y 15% en calavera 2 (Tabla 4).

Tabla 3. Biomasa de raíces vivas (g) a 25 cm de distancia horizontal desde la base del tallo en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación, los datos corresponden a los promedios \pm error estándar.

Tiempo (meses)	Zoca común	Poda pulmón	Poda calavera 1	Poda calavera 2
0	1,78 \pm 0,152	1,80 \pm 0,176	1,89 \pm 0,157	1,60 \pm 0,139
3	1,35 \pm 0,135	1,11 \pm 0,102	1,08 \pm 0,107	1,55 \pm 0,166
6	1,02 \pm 0,124	0,99 \pm 0,135	1,47 \pm 0,137*	1,59 \pm 0,153*
9	0,59 \pm 0,080	1,18 \pm 0,121*	1,60 \pm 0,133*	1,57 \pm 0,196*
12	0,44 \pm 0,082	1,19 \pm 0,131*	1,21 \pm 0,164*	1,52 \pm 0,150*

* Indica diferencias significativas respecto a zoca común según prueba t con un nivel de significación del 5%.

Tabla 4. Biomasa de raíces vivas (g) a 50 cm de distancia horizontal desde la base del tallo en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación, los datos corresponden a los promedios \pm error estándar.

Tiempo (meses)	Zoca común	Poda pulmón	Poda calavera 1	Poda calavera 2
0	1,41 \pm 0,145	1,33 \pm 0,120	1,56 \pm 0,134	1,22 \pm 0,177
3	0,78 \pm 0,090	0,87 \pm 0,101	0,88 \pm 0,113	1,02 \pm 0,116
6	0,60 \pm 0,075	0,85 \pm 0,114	1,00 \pm 0,120*	1,11 \pm 0,120*
9	0,50 \pm 0,064	0,82 \pm 0,109*	1,06 \pm 0,098*	1,04 \pm 0,136*
12	0,32 \pm 0,087	0,86 \pm 0,112*	1,08 \pm 0,130*	0,79 \pm 0,088*

* Indica diferencias significativas respecto a zoca común según prueba t con un nivel de significación del 5%.

Biomasa de raíces totales

En las mismas poblaciones donde hubo efecto sobre la variable de interés, también se identificaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la biomasa de raíces totales (vivas + muertas), en los muestreos realizados después de la intervención, con respecto a la fecha inicial del estudio, tanto a 25 cm como a 50 cm. Para esta variable, el método de renovación por poda calavera 2 no mostró diferencias en la biomasa de raíces totales en los primeros 25 cm y solamente registró diferencias al año en la distancia de 50 cm (Tablas 5 y 6).

Los resultados obtenidos, con las variables de interés y la complementaria, permitieron determinar que, a través de los métodos de renovación con zoca común, poda pulmón y poda calavera 1, se presenta reducción de la biomasa de raíces durante el primer año de crecimiento de las plantas intervenidas, a diferencia de la población intervenida con la poda calavera 2 donde la biomasa de raíces presentó menores pérdidas durante la mayor parte del tiempo de evaluación.

La biomasa de raíces totales registrada en zoca común un año después, mostró una reducción del 68,3% y el 73,8%, a 25 cm y 50 cm de distancia horizontal desde la base del tallo y a 20 cm de profundidad, respectivamente (Tablas 5 y 6). Esta pérdida de raíces se aproxima a los resultados de Salazar y Sadeghian (2016) en zocas de un año de edad, con una reducción de la biomasa radical inicial, entre el 52% y el 60% a 25 cm de distancia horizontal desde la base del tallo y entre el 49% y 65% cuando esta distancia se amplió a 50 cm.

A los dos años de edad, las plantas zoqueadas presentaron una recuperación de la biomasa de raíces cercana al 74%, del valor registrado en la primera evaluación, en muestras tomadas a

una distancia de 25 cm, en plantas de cinco años de edad. Según lo reportado por Riaño et al. (2004) una vez la planta supera la etapa inicial de crecimiento o fase vegetativa, inicia una etapa de crecimiento acelerado, que conduce a la mayor acumulación de materia seca, es decir, con el aumento de la edad la planta de café distribuye principalmente la biomasa en las hojas, la raíz y el tallo, posteriormente en la fase reproductiva la planta tiende a presentar una mayor acumulación de biomasa en las ramas y el tallo, mientras que la raíz se mantiene con valores más estables.

Bajo las condiciones del sitio evaluado, entre las distancias horizontales donde fueron tomadas las muestras, la mayor proporción de raíces totales (Tabla 5) y raíces vivas (Tabla 3) se obtuvo en los primeros 25 cm. Estos resultados son consistentes con los presentados por Rendón y Giraldo (2019) en suelos de origen de cenizas volcánicas, donde la mayor proporción de raíces finas y totales de café se encontró en los primeros 25 cm de profundidad, con abundancia de raíces en la mayor proximidad de la base del tallo.

En cuanto al concepto de acumulación y distribución de la biomasa en las estructuras que conforman la planta de café, según la fase de desarrollo pueden presentarse cambios en la redistribución de los asimilados, asociados a su vez con la acumulación de nutrientes (Riaño et al., 2004). Por tal razón los cambios que se presentan en la biomasa de raíces luego de podar las plantas de café, puede asociarse con el desequilibrio ocasionado al limitar la cantidad de órganos aéreos que soportan procesos fisiológicos de gran importancia como son la fotosíntesis y el intercambio gaseoso, además del mutuo intercambio hormonal en particular de citoquininas y auxinas (Kolek y Kozinka, 1992; Peres et al., 2001; Ghimire et al., 2022).

Tabla 5. Promedio de biomasa (g) de raíces totales (vivas + muertas) y valores de P a una distancia horizontal de 25 cm desde la base del tallo, en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación.

Tiempo (meses)	Zoca común		Poda pulmón		Poda calavera 1		Poda calavera 2	
	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value
3	1,47	0,0013*	1,20	0,0001*	1,19	0,0001*	1,65	0,2288
6	1,61	0,0092*	1,19	0,0003*	1,63	0,0045*	1,75	0,3978
9	0,80	0,0001*	1,42	0,0035*	1,82	0,0361*	1,70	0,3616
12	0,72	0,0001*	1,41	0,0051*	1,39	0,0003*	1,60	0,1434
24	1,39	0,0001*						

Comparación de las fechas de muestreo con la inicial para cada método de renovación, según prueba t al 5%. (*) indica diferencias significativas.

Tabla 6. Promedio de biomasa (g) de raíces totales (vivas + muertas) y valores de P a una distancia horizontal de 50 cm desde la base del tallo, en plantas de café sometidas a diferentes podas de renovación.

Tiempo (meses)	Zoca común		Poda pulmón		Poda calavera 1		Poda calavera 2	
	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value	Promedio	P-value
3	0,83	0,0002*	0,91	0,0024*	0,91	0,0001*	1,06	0,1421
6	0,97	0,0026*	0,96	0,0117*	1,09	0,0010*	1,21	0,4337
9	0,61	0,0001*	0,87	0,0019*	1,12	0,0007*	1,07	0,1770
12	0,41	0,0001*	0,94	0,0085*	1,12	0,0020*	0,82	0,0086*
24	0,51	0,0001*						

Comparación de las fechas de muestreo con la inicial para cada método de renovación, según prueba t al 5%. (*) indica diferencias significativas.

De acuerdo con los métodos de renovación evaluados, en la medida que se retira la mayor cantidad de tejido aéreo de las plantas, se presentan mayores pérdidas en la biomasa de raíces luego de la renovación, en comparación con las plantas que conservan más órganos aéreos. Estos resultados concuerdan con los reportes de Mesquita et al. (2009) al comparar zocas de café con alto grado de eliminación de tallo y ramas, y podas con menor grado de intervención de órganos aéreos como la denominada poda calavera.

Otros factores que influyen en la biomasa de raíces durante las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, están relacionados con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Carducci et al., 2015), la disponibilidad hídrica (Covre et al., 2015), la genética de la planta y las prácticas de manejo agronómico del cultivo (Partelli et al., 2014; Ronchi et al., 2015). La evaluación de la raíz antes de renovar las plantas de café en este estudio, permitió comparar el estado inicial del cultivo (tiempo 0), encontrando

igualdad en los promedios, por lo cual, se descartó la influencia de otras variables en los resultados.

Actualmente los planes de nutrición para la zoca tradicional, se basan en el inicio de la fertilización cuando la zoca cumple entre tres y seis meses de edad y luego de la selección de los brotes (Salazar y Sadeghian, 2016). Con los resultados de esta investigación, a partir de la biomasa de raíces obtenida con los diferentes métodos de renovación en el primer año, se tendrá un referente para fortalecer las recomendaciones de nutrición en las diferentes etapas del cultivo, según el tipo de poda realizada.

Como información complementaria, el registro de la producción de café cereza durante cinco años, en las plantas renovadas con los diferentes métodos de poda, permitió identificar los períodos con producción y el tiempo improductivo posterior a las intervenciones, en el cual los árboles promueven el crecimiento vegetativo (Figura 2). El período improductivo presente luego de la intervención con cada uno de los métodos de renovación evaluados, se describe como el tiempo que requieren las plantas para formar nuevas estructuras vegetativas como brotes, ramas primarias y ramas secundarias, este es un proceso que tarda entre 12 y 18 meses aproximadamente.

En renovaciones con poda calavera la cantidad de tejido que permanece luego de la poda (tallo 1,8 m y ramas hasta 0,4 m de longitud), es mayor en comparación con los otros tipos de renovación. Sin embargo, en el sistema de renovación con poda calavera recurrente cada dos años, después de registrar una cosecha (Calavera 2), los períodos improductivos impactan en una menor producción acumulada a través de los años (Figura 2).

La poda pulmón representa un método que ocasiona un rápido aumento en la altura de la planta de café, limitando el número de cosechas en el ciclo. Al adoptar este tipo de poda recurrente, con intervenciones cada tres años, se reduce el número de años en producción, tres de cosecha y dos de crecimiento durante los cinco años evaluados (Figura 2). Tanto en la poda pulmón como en podas calavera, se limita la oportunidad de mantener la densidad de siembra inicial, debido a la pérdida progresiva de sitios y la ausencia de resiembras.

El sistema de renovación a través de zoca tradicional presenta ventajas comparativas, entre ellas: mayor producción acumulada a través del tiempo en función de un menor número de años improductivos, menor frecuencia de intervención de las plantas, mayor número de cosechas en el ciclo. En el sitio de estudio al cabo de cinco años, la producción de café en zoca común presentó un valor acumulado de 50.865 kg de café cereza, superior a lo registrado con los otros tipos de renovación (Figura 2).

Es importante indicar que la renovación del cultivo es una práctica determinante para la productividad de los sistemas de producción, por lo tanto, una mayor comprensión de las etapas y procesos asociados al crecimiento del cultivo, es fundamental al momento de elegir los diferentes métodos de renovación. La caficultura en Colombia se caracteriza por reunir condiciones agroecológicas en las regiones con posibilidad de alcanzar ciclos de producción entre cinco y siete años, los cultivos con edades que superan este rango limitan su potencial productivo y ponen en riesgo la eficiencia económica de la caficultura (Duque-Orrego et al., 2021).

Uno de los métodos de mayor aceptación para la renovación del cultivo con variedades de café de porte bajo es la zoca común,

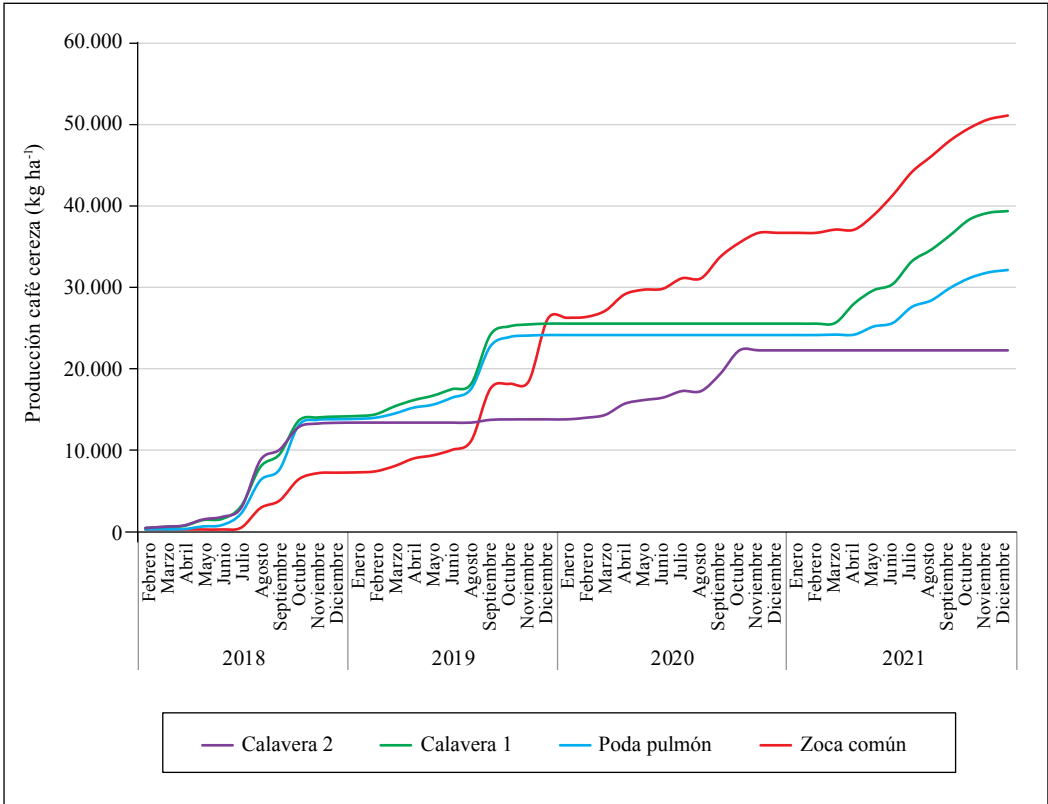


Figura 2. Producción acumulada de café cereza con diferentes métodos de renovación recurrente.

este tipo de renovación es estratégico para recuperar la capacidad productiva del cultivo y mantener ciclos entre cinco y siete años, con una correcta planificación de las prácticas de manejo agrónomo (Rendón, 2019). De otro modo, las podas calavera y pulmón son consideradas como métodos de renovación temporales, que tienen el propósito de facilitar el ordenamiento de las edades en momentos puntuales y no de forma recurrente.

Bajo las condiciones evaluadas en este estudio, se pudo concluir que los métodos de renovación del cultivo de café influyen sobre la pérdida de biomasa de raíces, después de

realizar las podas o la zoca hasta el primer año de edad.

En la zoca tradicional la raíz recupera gradualmente su volumen conforme los órganos aéreos aumentan su crecimiento, esta dinámica es un aspecto importante para apoyar decisiones relacionadas con las prácticas de fertilización, sitio de aplicación y épocas recomendadas.

La cantidad de raíces funcionales encontradas después de la renovación a través de podas pulmón y calavera serán de utilidad para determinar posibles ajustes en los planes de nutrición del primer año.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero John Jairo Giraldo P. Coordinador de Programa de Investigación Participativa del Comité de Cafeteros del Quindío por el acompañamiento y compromiso en el proyecto y al Comité de Cafeteros del Quindío por facilitar

las instalaciones de la Granja El Agrado y los recursos para el manejo agronómico del cultivo. Esta investigación fue financiada con recursos del Comité de Cafeteros del Quindío y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número FIT103006.

LITERATURA CITADA

- Alves, J. D., Paglis, C. M., Livramento, D. E. do, Linhares, S. S. D., Becker, F. B., & Mesquita, A. C. (2011). Source-sink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(5), 956–964. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000500013>
- Amaral, J. F. T., Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Fernandes, E. I., & Cruz, C. D. (2011). Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41(4), 621–629. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000027>
- Callejas, R., Rojo, E., Benavidez, C., & Kania, E. (2012). Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de Vides de Mesa. *Agrociencia*, 46(1), 23–35. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952012000100003&script=sci_abstract
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C., Curi, N., Heck, R. J., Rossoni, D. F., Carvalho, T. S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.015>
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C., Lima, J. M., Rossoni, D. F., Costa, A. L., & 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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300005>
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Gontijo, I., & Zucoloto, M. (2015). Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(11), 1006–1016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100003>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Ghimire, B. K., Kim, S.H., Yu, C.Y., & Chung, I.M. (2022). Biochemical and Physiological Changes during Early Adventitious Root Formation in *Chrysanthemum indicum* Linné Cuttings. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(11), 1440. <https://doi.org/10.3390/plants11111440>
- Gokavi, N., Mote, K., Jayakumar, M., Raghuramulu, Y., & Surendran, U. (2021). The effect of modified pruning and planting systems on growth, yield, labour use efficiency and economics of Arabica coffee. *Scientia Horticulturae*, 276, 109764. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109764>
- Gómez, R., Palma, D. J., Obrador, J. J., & Ruiz, 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), 203–2015. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1278>
- Gutiérrez, M. V., Torres, J., & Araya, J. M. (2014). Uso de WinRhizo® en la cuantificación de las raíces y su aplicación en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agronomia Mesoamericana*, 25(1), 181–188. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14219>
- Kolek, J., & Kozinka, V. (1992). *Physiology of the plant root system*. Kluwer Academic Publishers.
- Mesquita, A. C., Alves, J. D., Paglis, C. M., Guerra, E. G., Linhares, S. S. D., & Livramento, D. E. (2009). Sistema radicular de cafeeiros podados. En Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador), *VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Vitória, Espírito Santo, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2784>

- Moreno, A. M. (2010). Evite pérdidas económicas al renovar por zoqueo: Resiembré los sitios perdidos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 398, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0398>
- Partelli, F. L., Covre, A. M., Oliveira, M. G., Alexandre, R. S., Vitória, E. L., & Silva, M. B. (2014). Root system distribution and yield of “Conilon” coffee propagated by seeds or cuttings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(5), 349–355. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000500004>
- Peres, L. E., Majerowicz, N., & Kerbauy, G. B. (2001). Dry matter partitioning differences between shoots and roots in two contrasting genotypes of orchids and their relationship with endogenous levels of auxins, cytokinins and abscisic acid. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13(2), 185–195. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200007>
- Ramírez Builes, V. H., & Moreno Berrocal, A. M. (2013). Renovación de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 307–318). Cenicafé https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_26
- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Rendón, J. R. (2019). Recomendaciones para la renovación de café por medio de zocas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 500, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0500>
- Rendón, J. R., & Giraldo, A. (2019). Distribución de raíces en café variedad castillo® bajo dos arreglos espaciales. *Revista Cenicafé*, 70(1), 7–17. <https://doi.org/10.38141/10778/70101>
- Riaño, N., Arcila, J., Jaramillo, A., & Chaves, B. (2004). Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. *Revista Cenicafé*, 55(4), 265–276. <http://hdl.handle.net/10778/263>
- Ronchi, C. P., Sousa, J. M. de, Ameidá, W. L., Souza, D. S., Silva, N. O., Oliveira, L. B., Guerra, A. M. N., & Ferreira, P. A. (2015). Morfología radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(3), 187–195. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300001>
- Rutte, R. R., Julca, A., & Rivera, R. (2014). Alturas de poda y fertilización en la renovación de plantaciones de café (*coffea arabica* L.) en la selva central del Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, ex Agro-Ciencia*, 30(3), 191–201.
- Salazar, L. F., & Sadeghian, S. (2016). Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a la fertilización antes y después de la zoca. *Revista Cenicafé*, 67(1), 81–93. <http://hdl.handle.net/10778/681>
- Schmidt, R., Silva, L. O. E., Ferreira, A., Gontijo, I., Guimarães, R. J., Ramalho, J. C., & Partelli, F. L. (2022). Variability of Root System Size and Distribution among *Coffea canephora* Genotypes. *Agronomy*, 12(3), 647. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030647>
- Vicente, M. R., Mantovani, E. C., Fernandes, A. L. T., Neves, J. C. L., Figueredo, E. M., & Delazari, F. T. (2017). Spacial distribution of fertigated coffee root system. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(1), 72–80. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016411021316>