


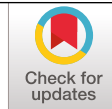


ANÁLISIS ECONÓMICO DE MÉTODOS DE RENOVACIÓN EN EL CULTIVO DE CAFÉ (ESTUDIO DE CASO)

Hugo Mauricio Salazar Echeverry *, José Raúl Rendón Saénz **, Diego Fernando Arango Cardona 

Salazar, H. M., Rendón, J. R., & Arango-Cardona, D. F. (2024). Análisis económico de métodos de renovación en el cultivo de café (estudio de caso). *Revista Cenicafé*, 76(1), e76101. <https://doi.org/10.38141/10778/76101>



El uso recurrente de podas pulmón y calavera ha despertado interés en caficultores que pretenden alcanzar mayores niveles de producción en un menor número de cosechas, situación que ha propiciado la alteración de los ciclos de renovación en las fincas, afectando la estabilidad de la producción y, por consiguiente, los ingresos de los productores, al desconocer las implicaciones económicas que se derivan de esas prácticas en el mediano y largo plazo. A partir de un estudio de caso se realizó un análisis económico a cuatro métodos de renovación del cultivo del café, basados en diferentes tipos de podas y momentos de intervención. Las podas evaluadas fueron zoca común en un ciclo de producción de cinco cosechas, poda pulmón con dos ciclos de producción de dos cosechas, poda calavera (dos ciclos de producción de dos cosechas) y safra cero (calavera), tres ciclos de una cosecha. Las parcelas con manejo comercial fueron intervenidas en la misma fecha desde 2017 hasta 2022, el manejo agronómico se basó en las recomendaciones técnicas generadas por Cenicafé. Los resultados evidenciaron que, pese a los mayores costos registrados, los ingresos obtenidos en el sistema de zoca común fueron superiores, explicados por un mayor número de cosechas en el mismo lapso de tiempo frente a los otros tipos de podas que registraron más períodos improductivos por la dinámica de las renovaciones, así mismo la zoca común tuvo una menor proporción de sitios perdidos e improductivos.

Palabras clave: Análisis económico, *Coffea arabica*, podas, producción, Colombia, Cenicafé.

ECONOMIC ANALYSIS OF RENEWAL METHODS IN COFFEE GROWING (CASE STUDY)

The recurrent use of lung and skeleton pruning has sparked interest among coffee growers seeking higher production levels in fewer harvests. This situation has led to the alteration of renewal cycles on farms, affecting the stability of production and, consequently, the producers' income by not knowing the economic implications of these practices in the medium and long term. Based on a case study, an economic analysis was carried out on four methods of coffee crop renewal based on different types of pruning and intervention times. The pruning evaluated was renewal by stumping in a production cycle of five harvests, lung pruning with two production cycles of two harvests, skeleton pruning (two production cycles of two harvests), and zero safra (skull), three cycles of one harvest. The commercially managed plots were intervened on the same date from 2017 to 2022; the agronomic management was based on the technical recommendations generated by Cenicafé. The results showed that, despite the higher costs recorded, the income obtained in the renewal by the stumping system was higher, explained by a greater number of harvests in the same period than other types of pruning that recorded more unproductive periods due to the dynamics of the renewals. Likewise, the renewal by stumping had a lower proportion of lost and unproductive sites.

Keywords: *Coffea arabica*, economic analysis, production, pruning, Colombia, Cenicafé.

* Investigador Científico II y Asistente de Investigación. Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-7812-7595>, <https://orcid.org/0000-0003-0594-728X>

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



Prever y planear la duración de los ciclos de renovación, así como determinar la estructura de edades de las plantaciones, resulta fundamental para incrementar la productividad de las fincas cafeteras, favoreciendo la rentabilidad de la actividad (Duque-Orrago et al., 2021).

En sistemas de producción de café establecidos con variedades de porte alto o de porte bajo, indistintamente de la densidad de siembra, a libre exposición solar o en sistemas agroforestales, a libre crecimiento o con descope, y con diferente número de tallos por sitio, existe un número de cosechas con las cuales se consigue el máximo promedio de producción, aun considerando el período de crecimiento vegetativo, situación que determina el número óptimo de años de un ciclo (Arcila et al., 2007).

En sistemas de manejo, regularmente con ciclos de cuatro o cinco cosechas, el cultivo de café debe intervenir aplicando algún tipo de poda para mantener su potencial productivo estable a través del tiempo, procurando lotes de diferentes edades en proporciones similares, de tal manera que el área improductiva no supere el 20% (Araque y Duque, 2019; Mestre y Ospina, 1994).

Al aplicar el concepto de elasticidad de la producción para datos experimentales, se estimó la duración óptima del ciclo en función de la productividad y se encontró que a los cinco años se llegaba al máximo para una densidad de 10.000 árboles por hectárea, seis años para 5.000 árboles por hectárea y siete años para 2.500 árboles/ha. La densidad de siembra condiciona el momento específico en el que se alcanza el punto máximo de producción promedio del cultivo; a partir de ese momento, aumentar la edad de la plantación tendrá efectos negativos en la producción e incrementos en los costos (Duque-Orrago et al., 2021).

Los sistemas de renovación más utilizados en la poda sistemática por lotes, son descritos por Arcila et al., (2007): 1) Zoca común o convencional, consiste en eliminar la parte aérea de la planta mediante el corte del tallo a 30 cm del suelo; 2) Poda pulmón, se fundamenta en un corte del tallo que se realiza a 60 cm de altura y se conservan las ramas bajas completas o despuntadas; 3) Poda o zoca calavera, con esta intervención se eliminan total o parcialmente las ramas primarias del tallo principal, permitiendo la generación de brotes ortotrópicos.

Métodos de renovación basados en podas diferentes a la zoca convencional o común han permitido en diferentes localidades de Colombia obtener altas productividades, en ciclos de dos cosechas, y pueden constituir alternativas para organizar edades de las plantaciones y contribuir a estabilizar la producción, no obstante, debe restringirse su uso para establecer sistemas de renovación en el largo plazo (Rendón y Salazar, 2023). La zoca común permite mantener ciclos de renovación de cuatro y cinco cosechas, es decir, con un mayor número de años productivos sin realizar intervenciones en el cultivo (Rendón, 2016).

En Brasil ha sido adoptado como sistema de renovación la "safra zero" que consiste en realizar una poda de altura (descope) y una poda a las ramas laterales, con longitudes variables en el corte, desde 20 hasta 50 cm. La finalidad de esta práctica es mantener el porte de la labranza y reducir costos de recolección en años de baja producción como efecto de la bienalidad; para ello, el cultivo se renueva cada dos años, al cabo de la primera cosecha permitiendo crecimiento vegetativo en el primer año y fructificación en el año siguiente, cuando será nuevamente podado (García et al., 2012; Matiello et al., 2007).

Japiassú et al. (2010) estudiaron diferentes tipos de poda recomendados para safra cero en variedades de porte alto y porte bajo; así mismo evaluaron en safra cero intervenida cada dos años (una cosecha), tres dosis de fertilización nitrogenada después de la poda. Los resultados obtenidos no mostraron aumento en rendimiento de los diferentes tratamientos respecto al testigo sin poda.

En ese mismo sentido, García et al., (2012) al evaluar diferentes duraciones del ciclo de renovación utilizando el sistema safra cero en la variedad Mundo Novo (IAC 376/4), encontraron que el testigo sin poda obtuvo el mayor promedio de producción, seguido de la safra cero cada cuatro años (tres cosechas) y el menor promedio lo registró la safra cero realizada al cabo de dos años y una cosecha.

Alterar la duración del ciclo utilizando de manera recurrente las podas pulmón y calavera, sin considerar todos los elementos del sistema de producción puede llevar al caficultor a incurrir en ineficiencias en la asignación de recursos, comprometiendo la productividad y rentabilidad de su predio (Salazar et al., 2023). Es necesario entonces, conocer las implicaciones desde el punto de vista económico que tiene la implementación de ciclos de renovación con duraciones variables en el tiempo, basadas en podas pulmón y calavera.

Los presupuestos parciales constituyen una técnica útil para analizar una práctica de manejo o intervención como son las podas de cafetales; de tal manera que, en los presupuestos parciales, insumos, herramientas, mano de obra y sus costos, así como los ingresos por la producción lograda se asocian únicamente con las prácticas que se evalúan (Ávalos y Villalobos, 2018). Este método es sugerido y utilizado para medir los efectos positivos y negativos de un cambio técnico propuesto

en una práctica a nivel de finca (Bharati & Gupta, 2018).

El análisis marginal como técnica, es usado para comparar el costo de un insumo con el valor de un producto a precios del mercado, con el fin de determinar el adecuado nivel de insumo a utilizar (Berger, 2011). El análisis marginal es una herramienta conceptualmente simple y útil para tomar cualquier tipo de decisión que involucre costos e ingresos. Es el proceso de considerar pequeños cambios en una decisión para determinar si el cambio propuesto mejorará o no el ejercicio económico del sistema productivo.

El objetivo del estudio fue realizar un análisis económico a cuatro sistemas de renovación del cultivo de café, basados en diferentes tipos de podas y momentos de intervención.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El trabajo se llevó a cabo en la granja El Agrado, en Montenegro, Quindío (4° 31' N y 75° 48' W), con altitud de 1.275 m, precipitación histórica promedio de 2.110 mm año⁻¹, temperatura media de 21,75°C y suelos derivados de ceniza volcánica de la unidad cartográfica Montenegro. Para la evaluación se seleccionó un lote de *Coffea arabica* L. variedad Castillo® sembrado en el año 2006 con un arreglo espacial de 1,2 m x 2,0 m, densidad de 4.166 plantas/ha, y que después de cumplir su primer ciclo de cuatro cosechas, a partir de 2011, se intervino de manera recurrente con podas pulmón.

Estudio de caso. El lote se dividió en cuatro parcelas de tamaño semicomercial (3.000 m²), con 1.200 árboles cada una, a las que se asignó aleatoriamente un método de renovación diferente (Tabla 1): (I) zoca común con corte del tallo a 30 cm, para un

ciclo de cinco cosechas; (II) poda pulmón con corte del tallo a 60 cm y despunte de ramas a 40 cm, ciclo de dos cosechas; (III) poda calavera con descope a 180 cm y despunte de ramas entre 5 y 10 cm, ciclo de dos cosechas; y (IV) safra cero con descope a 180 cm y despunte de ramas entre 5 y 10 cm, ciclo de una cosecha.

Tabla 1. Sistemas de renovación evaluados.

Sistema	Descripción
1	Zoca común o convencional (30 cm)
2	Poda pulmón
3	Poda calavera
4	Safra cero (Poda calavera a una cosecha)

La renovación de las cuatro parcelas se realizó en la misma fecha (febrero de 2017), el estudio se proyectó para un ciclo de cultivo de cinco cosechas de la zoca común, previendo alcanzar dos ciclos de las podas pulmón y calavera en el mismo horizonte de tiempo. La duración fue de 69 meses, a partir de la renovación inicial en febrero de 2017, hasta diciembre de 2022 como fecha de finalización de la quinta cosecha de la zoca común, cuarta cosecha de las podas pulmón y calavera, y tercera cosecha de la safra cero.

El manejo agronómico se realizó de la misma manera para todas las parcelas, la diferencia radicó únicamente en el tipo de poda practicada a cada sistema de renovación descrito en la Tabla 1, las labores agronómicas se realizaron conforme a las recomendaciones técnicas generadas por Cenicafé (2021), en aspectos relacionados con prácticas de renovación, selección de brotes (chupones), resiembras, manejo integrado de arvenses, fertilización, manejo integrado de broca, entre otras.

Registro de información

Costos de producción

Mano de obra. Para cada método de renovación se registraron durante la realización de la evaluación los valores de mano de obra, es decir, los jornales (jornadas de trabajo empleadas en cada labor) y su costo, empleados en las diferentes labores del cultivo: resiembras, plateos, fertilizaciones, manejo de plagas y enfermedades, manejo integrado de arvenses, recolección y beneficio.

Insumos. Se registraron las cantidades de insumos y su costo, empleados en las diferentes etapas del cultivo, por ejemplo: fertilizantes, enmiendas, fungicidas, insecticidas, herbicidas.

Variables de ingreso

Producción de café. Se registró la producción acumulada en kilogramos de frutos de café que se obtuvo en 84 pases de recolección, expresada posteriormente en arrobas de café pergamino seco (@ de cps; una arroba = 12,5 kg), de acuerdo al factor de conversión para cada método de renovación. Así mismo, se registró el precio de venta del café como variable de ingreso, pesos por arroba de café pergamino seco (\$/@ cps).

Indicadores de productividad. Partiendo de las variables registradas en los costos y los ingresos, se definieron indicadores de productividad de la tierra (@ ha⁻¹ de cps), como factor de producción, igualmente para la productividad de la mano de obra en labores del cultivo, el costo de producción por hectárea en cada sistema y el costo por arroba de café pergamino seco (costo unitario de producción, \$/@cps), considerado indicador de productividad total.

Análisis económico

Viabilidad económica de los sistemas. Cada sistema al final del ciclo se evaluó utilizando el método de presupuestos parciales y el análisis marginal (Ávalos y Villalobos, 2018; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1988), para ello se consideró la diferencia entre el flujo de ingresos y el flujo de costos variables, estableciendo el margen bruto y de esta manera comparar los diferentes métodos de renovación.

Para evaluar la eficiencia del uso de nutrientes (EUN) de los fertilizantes aplicados se estimó la productividad parcial de los factores (PPF) que se calcula como el rendimiento del cultivo (kg) por unidad de nutriente aplicado (kg), para cada método de renovación <Ecuación 1> (Rawal et al., 2022; Ray et al., 2018).

$$PPF (kg kg^{-1}) = \frac{\text{Productividad del cultivo (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Cantidad (kg ha}^{-1}\text{) de nutriente aplicado}} <1>$$

Los análisis económicos se realizaron a pesos constantes deflactando los precios con el índice base (2018) publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a junio de 2024. El análisis abordó los costos variables en la producción

de café, no se consideraron costos fijos como impuestos, costos administrativos y financieros.

Finalmente, tanto los costos como los ingresos derivados del ejercicio se llevaron a hectárea para contribuir a una mejor comprensión de los resultados.

Para realizar los análisis económicos de los sistemas de renovación se partió de los datos básicos descritos en la Tabla 2.

Los datos básicos se construyeron con el registro de la información real de mano de obra empleada en las labores del cultivo, cantidades y precios de insumos, costo de recolección unitario y precio de venta del café.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Costo de las labores de renovación

Los costos asociados a la labor de renovación inicial de los lotes se presentan en la Tabla 3, comprenden todas las actividades necesarias para intervenir los lotes y gestionar los residuos vegetales resultantes de las podas.

El sistema que presentó mayores costos fue el de zoca común, la zoca pulmón en segundo lugar con 31% menos costos, mientras

Tabla 2. Datos básicos para el análisis económico de los sistemas de renovación.

Variable	Unidad	Valor	Observación
Mano de obra	Jornal	\$50.000	Zona central cafetera
Insumos agrícolas	Precio	\$/unidad	Precios insumos DANE, febrero 2017–noviembre 2022
Precio de venta	\$/@cps	\$140.256	Precio promedio enero 2018-diciembre 2022
Costo recolección	\$/kg/cc	\$822	Promedio enero 2018-diciembre 2022

que en las parcelas intervenidas con poda calavera y safra cero se reflejaron costos en la renovación inferiores en un 38% frente a los costos de la renovación por zoca común.

Tabla 3. Costos de las labores de renovación por hectárea.

Sistema	Costo \$
Zoca común o convencional (30 cm)	\$3.695.205
Poda pulmón	\$2.535.275
Poda calavera	\$2.286.719
Safra cero	\$2.286.719

Costo de la etapa de levante para cada sistema de renovación

Los costos de las diferentes labores agronómicas durante los primeros 12 a 18 meses de edad de la plantación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Costos del levante para cada sistema de renovación evaluado.

Sistema	Costo \$/ha
Zoca común o convencional (30 cm)	\$14.276.264
Poda pulmón	\$10.961.923
Poda calavera	\$9.547.520
Safra cero	\$9.347.864

Las diferencias encontradas en los costos de levante (etapa improductiva del cultivo posterior a la renovación, en la que prima el crecimiento vegetativo de la planta) para los sistemas de renovación obedecen

principalmente a labores como manejo integrado de arvenses, control de plagas como broca (en la poda pulmón debido a los frutos presentes en las ramas del tercio inferior que se conservan después de la intervención de renovación), cochinillas y labores agronómicas como las deschuponadas (eliminación de brotes ortotrópicos o chupones). La principal diferencia en la estructura de costos se refleja en el manejo de arvenses que para el caso de la zoca común representa el 56% de los costos de la etapa de levante, mientras que para los otros sistemas de renovación este rubro representó entre el 45% y el 48% de los costos en los primeros 18 meses del cultivo.

En la parcela establecida con la zoca convencional, fue necesario el control de arvenses con mayor frecuencia que en los demás tipos de podas que rápidamente cerraron las calles y redujeron la interferencia generada por las arvenses.

Durante la duración del estudio (febrero 2017 – diciembre 2022), el sistema de safra cero registró tres cosechas y tres periodos improductivos; las podas pulmón y calavera tuvieron cuatro cosechas y dos periodos improductivos, mientras la zoca convencional presentó cinco cosechas y un período improductivo (Figura 1). En ese sentido, es importante resaltar que los costos de renovación y levante señalados en las Tablas 3 y 4 se registraron en cada método de renovación con la misma frecuencia de los periodos improductivos.

En la Figura 1 puede apreciarse que la producción acumulada fue superior para el sistema de zoca común al registrar cinco cosechas en el período evaluado, no obstante, la densidad de siembra inferior a 5.000 árboles por hectárea (4.166 árboles/hectárea), condicionó el rendimiento; a mayor

población de árboles de café por hectárea se alcanzan productividades mayores (Araque y Duque, 2019). Unigarro et al., (2021) plantean que, al incrementar la densidad de siembra en rangos adecuados se optimiza la captura de luz, dado el incremento del índice de área foliar (IAF) y, por lo tanto, se incrementa la capacidad fotosintética del cultivo de café.

El sistema de poda calavera presentó 23% menos de producción con el acumulado de las cuatro cosechas de los dos ciclos; la poda pulmón con dinámica similar a la poda calavera, tuvo una producción acumulada 37% inferior al sistema de zoca; el denominado sistema de safra cero con dos cosechas, reportó una producción acumulada inferior en 58% respecto al referente de zoca convencional. La renovación por zoca tiene ventajas de

carácter económico, registra menos costos que la renovación por siembra y en el tiempo, confiere menos años improductivos y menor agotamiento de la planta que sistemas de podas como la calavera o pulmón (Duque-Orrego et al., 2021; Rendón, 2016).

Las podas pulmón y calavera recurrentes propiciaron un mayor porcentaje de sitios faltantes (Figura 2) comprometiendo el potencial productivo del cultivo; adicionalmente, las podas por su rápido crecimiento vegetativo no permiten recuperar los árboles perdidos por medio de resiembras, labor que garantiza mantener la densidad de siembra del cultivo, recupera los sitios que perdieron árboles, mitiga las pérdidas en productividad y retribuye la inversión (Rendón y Salazar 2023; Rendón y Duque, 2018; Unigarro et al., 2021).

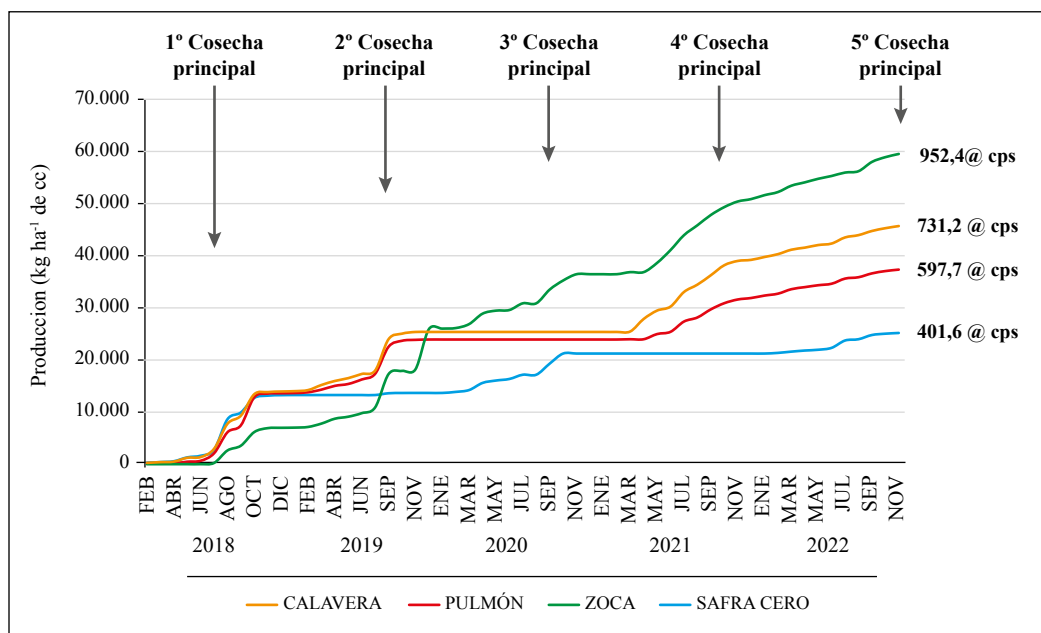


Figura 1. Registro de la producción acumulada de frutos de café cereza (cc) en los sistemas de renovación, hasta el mes 69.

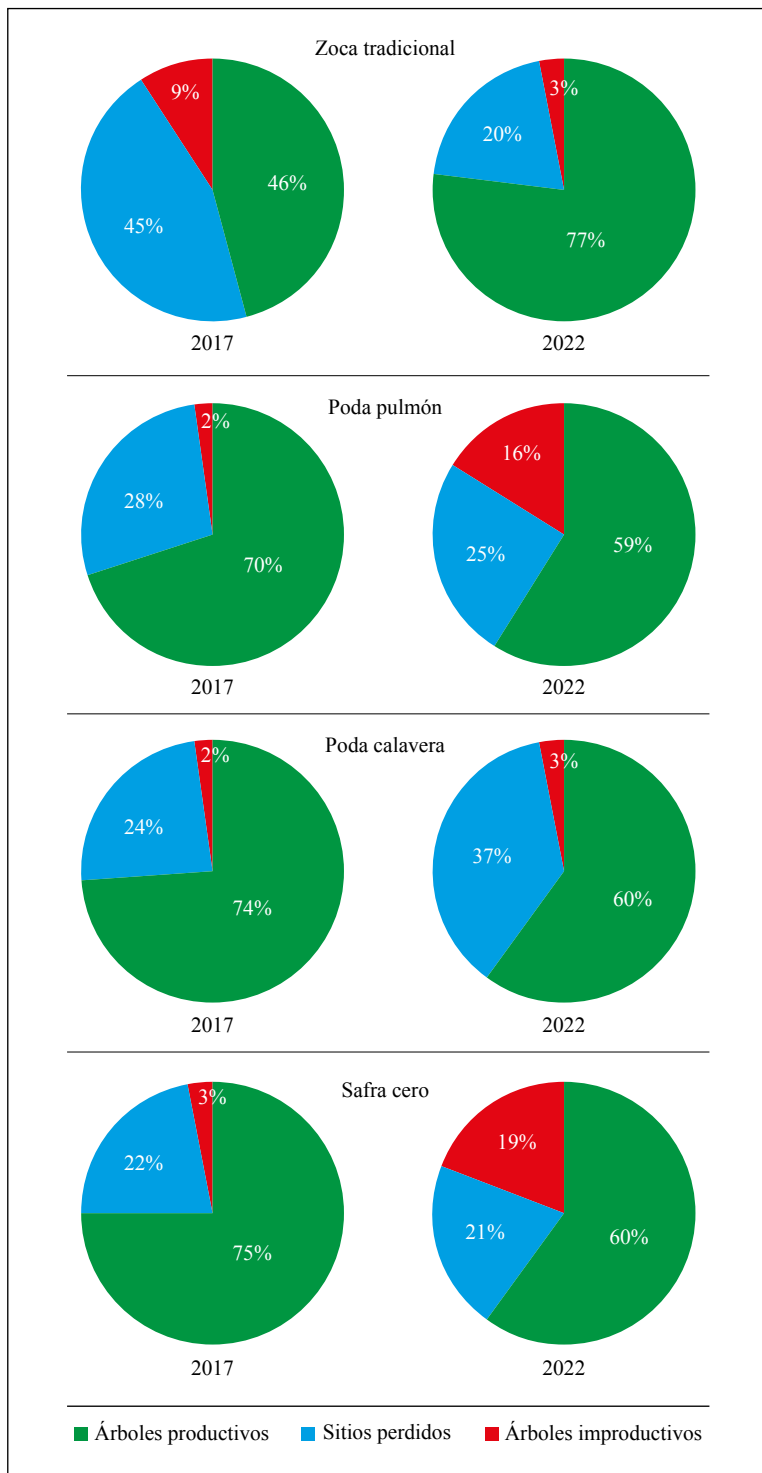


Figura 2. Evolución de sitios perdidos para los diferentes sistemas de renovación durante el ciclo de producción analizado.

Costos variables de los sistemas de renovación

A través del método de presupuestos parciales (Ávalos y Villalobos, 2018; Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1988) se calcularon los costos variables y los beneficios netos obtenidos al final del ciclo de producción en los lotes intervenidos con los diferentes tipos de renovación, la Tabla 5 presenta el resultado de ese ejercicio. La comparación entre los costos acumulados incurridos en cada sistema de renovación mostró que, la zoca común tuvo costos mayores, seguida por la poda calavera y la poda pulmón, con costos inferiores en 14% y 21%, respectivamente; las diferencias en costos se debieron además de las labores de renovación y agronómicas de la etapa improductiva, a las actividades de recolección y poscosecha de una mayor cantidad acumulada de café cereza producido.

Los ingresos registrados por la venta de café en el sistema de zoca a 30 cm fueron superiores en 23% sobre el sistema de poda calavera, 37% comparado con la poda pulmón y 58% frente a safra cero; las diferencias pueden ser explicadas por el mayor número de años productivos que presentó en el ciclo el sistema de zoca y, por consiguiente, mayor producción acumulada, frente a los otros métodos de renovación que registraron menos años productivos en el mismo período de tiempo, coincidiendo con el comportamiento descrito por Rendón (2016), quien además advirtió que por el mayor desarrollo de los árboles manejados con las podas pulmón y calavera, el agotamiento de las plantas se presenta de manera anticipada al cabo de dos cosechas, obligando a una nueva intervención para renovar el lote.

Tabla 5. Presupuesto parcial, costos variables entre los sistemas de renovación.

Concepto	Tipo de poda			
	Safra cero	Calavera	Pulmón	Zoca
Rendimiento acumulado arrobas/cps/ha	401,6	731,2	597,7	952,4
Ingresos brutos (\$/ha)	\$ 56.321.124	\$ 102.556.494	\$ 83.832.125	\$ 133.580.571
Costo insumos (\$/ha)	\$ 14.345.351	\$ 18.394.688	\$ 15.476.659	\$ 16.931.599
Costo mano de obra labores agronómicas (\$/ha)	\$ 33.660.750	\$ 36.317.880	\$ 38.341.825	\$ 40.973.682
Costo recolección (\$/ha)	\$ 20.630.174	\$ 37.565.981	\$ 30.707.329	\$ 48.929.960
Costo poscosecha (\$/ha)	\$ 2.128.271	\$ 3.875.420	\$ 3.167.861	\$ 5.047.762
Total costos (\$/ha)	\$ 70.764.546	\$ 96.153.969	\$ 87.693.673	\$ 111.883.003
Ingresos netos (\$/ha)	-\$ 14.443.422	\$ 6.402.525	-\$ 3.861.549	\$ 21.697.568
Margen bruto (\$/@cps)	-\$ 35.968	\$ 8.756	-\$ 6.461	\$ 22.782

Las labores de renovación y labores agronómicas representaron el 68% y el 61% de los costos para los sistemas establecidos con las podas safra cero y pulmón, respectivamente; al tiempo que la asignación de recursos en labores de recolección y poscosecha fue superior para los lotes intervenidos con zoca (48%) y poda calavera (43%), explicada por la mayor productividad registrada en estos dos sistemas que a su vez obtuvieron mayores ingresos por la venta de café pergamino seco. Salazar et al., (2023) reportaron que caficultores eficientes en la asignación de recursos lograban eficiencias económicas y mayores productividades.

El análisis de los costos variables acumulados por hectárea mostró que los dos lotes intervenidos con safra cero y poda pulmón resultaron dominados, en términos de beneficios económicos, por la poda calavera y el lote con zoca común, pues un incremento

en los costos variables cuando se emplearon los primeros no condujo a un incremento en el margen bruto y por el contrario este fue negativo al final del ciclo evaluado (Figura 3).

Los tipos de intervención que presentaron márgenes brutos positivos fueron la zoca común y la poda calavera; al considerarlos de menor a mayor, de acuerdo con los costos variables, se obtuvieron los incrementos en costos y beneficios de realizar la zoca convencional en lugar de la poda calavera, la razón entre estos incrementos dio como resultado la tasa de retorno marginal (0,97) que indica el porcentaje de retorno en términos de utilidad que puede obtenerse por cada peso (COP) en que se incrementan los costos por decidir el cambio de poda calavera a zoca 30; por cada peso invertido en realizar la zoca 30 en lugar de la poda calavera, se recupera el peso invertido y obtienen \$0,97 adicionales.

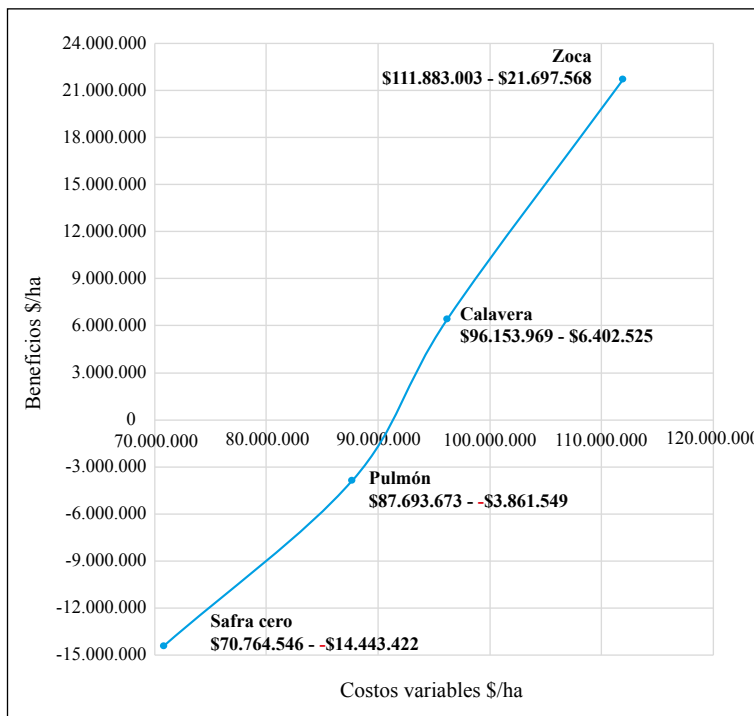


Figura 3. Curva de beneficios netos para los sistemas de producción intervenidos con podas.

Productividad parcial de los factores

La productividad parcial de los factores (PPF), que se expresa como el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente proporcionado, es una técnica que compara las ventajas económicas de la fertilización (Belete et al., 2018; Fixen et al., 2015). Las diferencias en la PPF promedio entre los tipos de renovación estudiados se basaron en el potencial productivo, que en este caso fue consecuencia del número de años improductivos (períodos de levante), el número de árboles perdidos y el número de árboles sin registro de producción (Rendón et al., 2023).

La PPF en los cuatro tipos de renovación estuvo en el rango de 15,7-31,5 kg kg⁻¹ de N; 98,0-196,9 kg kg⁻¹ de P y 16,3-32,8 kg kg⁻¹ de K; tomando como referente la zoca convencional, la PPF de la safra cero fue del 50%, la poda pulmón alcanzó una PPF de 69% y la poda calavera 71%, es decir, registraron ineficiencias técnicas en el uso del fertilizante de 50%, 31% y 29%, respectivamente, frente a la zoca.

Una comparación de los valores de PPF_N, PPF_P y PPF_K (31,5; 202 y 61 kg de frutos de café por kilogramo de nutriente suministrado, respectivamente) registrados por el programa de semilla de variedades mejoradas de Cenicafé en las Estaciones Experimentales durante 2023, con los valores de zoca obtenidos en el estudio, mostró que PPF_N fue igual (31,5), PPF_P con 196,9 fue apenas 2,6% inferior, no obstante, el valor de PPF_K (32,8) representó el 54% del valor obtenido en los campos de semilla.

En términos generales, la PPF presentó una ineficiencia del 14% explicada principalmente por la densidad de siembra de 4.166 árboles/ha; el aumento de las tasas de fertilizante reduce la eficiencia del uso de nutrientes porque el rendimiento aumenta más lentamente que

la cantidad de nutriente (K) aplicado en el suelo. Sadeghian y Duque (2018) recomiendan ajustar la dosis de fertilizante en función de la densidad de siembra con el fin de optimizar el uso del fertilizante, que es determinante en la productividad de la caficultura.

Puede concluirse que:

- El método de renovación por zoca común registró mayores costos acumulados, igualmente ingresos superiores a los obtenidos en los otros tipos de podas, debido a que presentó un único período improductivo y un mayor número de cosechas en el mismo lapso de tiempo, así mismo tuvo una menor proporción de sitios perdidos e improductivos.
- El menor costo en las labores de renovación y de levante lo presentó la poda calavera, seguida por la safra cero y la poda pulmón, no obstante, al registrar mayor número de años improductivos los costos acumulados superaron los registrados por la zoca común.
- Los sitios perdidos y los árboles improductivos en los sistemas de podas pulmón y calavera representaron en promedio el 39% debido a podas recurrentes que aceleraron el agotamiento de los árboles y limitaron la posibilidad de realizar resiembras.
- Los tipos de intervención que presentaron márgenes brutos positivos fueron la zoca común y la poda calavera; los costos variables fueron superiores en la zoca debido a mayores costos de recolección que a su vez explican mayores ingresos para este método de renovación.
- El análisis marginal mostró que los menores ingresos (beneficios) se registraron en la safra cero y la poda pulmón con márgenes

brutos negativos, por lo tanto, fueron alternativas que resultaron dominadas por la poda calavera y la zoca convencional.

- La tasa de retorno marginal (0,97) al comparar los resultados económicos de la poda calavera y la zoca, indica el porcentaje de retorno en términos de utilidad que puede obtenerse por cada peso (COP) en que se incrementan los costos por decidir el cambio de poda calavera a zoca común; por cada peso invertido en la zoca común en lugar de la poda calavera, se recupera el peso invertido y obtienen \$0,97 adicionales.
- La productividad parcial de los factores (PPF), expresada en el rendimiento del cultivo por unidad de nutriente proporcionado en la fertilización, evidenció ineficiencias técnicas entre el 29% y el 50% de los tres tipos de poda en el uso del fertilizante frente a la zoca.
- La densidad de siembra (4.166 árboles/ha) con la que se estableció originalmente el sistema de producción comprometió la expresión en productividad de los tipos de renovación evaluados, confirmando la necesidad de establecer densidades de

siembra superiores a 5.000 árboles/ha que permitan el desempeño de la empresa cafetera con eficiencia económica.

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 ECO102004.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, Metodología: **HMSE**. Análisis formal: **HMSE, JRRS, DFAC**. Curación de datos: **HMSE, DFAC**. Investigación: **HMSE, JRRS, DFAC**. Redacción–borrador original: **HMSE**. Redacción–revisión y edición: **HMSE, JRRS, DFAC**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Araque Salazar, H., & Duque, H. (2019). Variables agronómicas determinantes de la productividad del cultivo de café en fincas del departamento de Caldas. *Revista Cenicafé*, 70(1), 81–92. <https://doi.org/10.38141/10778/70106>
- Arcila, J., Farfán, F.F., Moreno, A. M., Salazar, L.F., & Hincapié, E. (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Ávalos-Cerdas, J. M., & Villalobos-Monge, A. (2018). Análisis económico: Un estudio de caso en *Jatropha curcas* L. mediante la metodología de presupuestos parciales. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 95. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27901>
- Bharati, T., & Gupta, K. (2018). Job Stress and Productivity: A Conceptual Framework. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 6(8), 393–399.
- Belete, F., Dechassa, N., Molla, A., & Tana, T. (2018). Effect of split application of different N rates on productivity and nitrogen use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture & Food Security*, 7(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0242-9>
- Berger, A. (2011, November 29- December 1). Calculating Unit Costs of Production and Using the Information for Enterprise Analysis and Decision Making on the Ranch. *Proceedings of Range Beef Cow Symposium*

- XXII. Mitchell, Nebraska. <https://digitalcommons.unl.edu/rangebeefcowsymp/282/>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed.). Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. CIMMYT.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (s/f). *IPC actualización metodológica 2019*. Recuperado el 13 de mayo de 2025, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-actualizacion-metodologica-2019>
- 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>
- Fixen, P., Brentru, F., Bruulsema, T., Garcia, F., Norton, R., & Zingore, S. (2015). Nutrient/fertilizer use efficiency: Measurement, current situation and trends. In P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen, & D. Wichelns (Eds.), *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification* (pp. 8–38). International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI). https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2015_ifa_iwmi_ipni_ipi_water_fertilizer.pdf
- Garcia, L. A., Garcia, W., Lacerda, G. R., & Padilha, L. (2011, November 01-04). Sistema safra zero: ciclos de poda em cafeeiros de porte alto e baixo. *Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*. Poços de Caldas, Brasília. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/909949>
- Japiassú, L. B., Garcia, A. L. A., Guimaraes, R. J., Padilha, L., & Carvalho, C. H. S. (2010). Pruning cycles and nitrogen fertilization of coffee fields conducted in the “safra zero” system. *Coffee Science*, 5(1), 28–37. <https://coffeescience.ufra.br/index.php/Coffeescience/article/view/269>
- Matiello, J.B., Garcia, W. R., Almeida, S. R. (2007). Recomendando a poda em cafezais. *Revista brasileira de tecnologia cafeeira coffea, Fundação procafé*, 4(11), 1–40.
- Mestre, A., & Ospina, H. F. (1994). Estabilización de la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 200, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0200>
- Rawal, N., Pande, K. R., Shrestha, R., & Vista, S. P. (2022). Nutrient use efficiency (NUE) of wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by NPK fertilization. *PLOS ONE*, 17(1), e0262771. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262771>
- Ray, K., Banerjee, H., Bhattacharyya, K., Dutta, S., Phonglosa, A., Pari, A., & Sarkar, S. (2018). Site-Specific Nutrient Management for Maize Hybrids in an *Inceptisol* of West Bengal, India. *Experimental Agriculture*, 54(6), 874–887. <https://doi.org/10.1017/S001447971700045X>
- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0463>
- Rendón, J. R., & Duque, H. (2017). Determine la densidad de tallos en las zocas de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 484, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0484>
- Rendón, J. R., & Salazar, H. M. (2023). Recuperación de sitios faltantes en la renovación del cultivo de café, una estrategia rentable. *Avances Técnicos Cenicafé*, 555, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0555>
- 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>
- Salazar Echeverry, H. M., Duque Orrego, H., & Granobles-Torres, J. C. (2023). The Economic Efficiency of Coffee Growers in the Department of Caldas, Colombia. *Economies*, 11(10), 255. <https://doi.org/10.3390/economies11100255>
- Sadeghian, S., & Duque Orrego, H. (2017). Formulaciones generales de fertilizantes: alternativas para una nutrición balanceada de los cafetales en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 483, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0483>
- Unigarro, C. A., Rendón, J. R., & Acuña-Zornosa, J. R. (2021). Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 525, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0525>