ISSN-0120-0275
ISSN-2711-3477 (En línea)
DOI-10.38141/10778

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café

Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

Volumen 76 Número 1

Enero - Junio 2025

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Germán Ávila Plazas

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Martha Viviana Carvajalino Villegas

Ministro de Comercio, Industria y Turismo (designada)
Diana Marcela Morales Rojas

Director del Departamento Nacional de Planeación
Natalia Irene Molina Posso

Asesor del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Rogelio Andrés Rodríguez Castillo

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)
José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)
Eugenio Vélez Uribe (Caldas)
Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)
Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)
Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)
Ruber Bustos Ramírez (Huila)
Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)
Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)
Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)
Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)
Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)
Héctor Santos Galvis (Santander)
Carlos Sánchez Serrano (Tolima)
Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General
Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones
Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales
Reynaldo Díaz Medina

Gerente Comercial
Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico
Gerardo Montenegro Paz

Director Investigación Científica y Tecnológica
Álvaro León Gaitán Bustamante

Uso del material de esta revista:

Aquellas personas que deseen usar en otras publicaciones, ilustraciones o datos publicados en la Revista Cenicafé, deben obtener el permiso del Centro Nacional de Investigaciones de Café y del autor del artículo y reconocer por escrito los créditos a la Revista Cenicafé como fuente original del material.

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

La Revista Cenicafé, órgano divulgativo del Programa de Investigación Científica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Fondo Nacional del Café se publica semestralmente.

DOI - https://doi.org/10.38141/rev.cenicafe76-1
Editada en junio de 2025
Tel: 606 + 8500707
E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com
www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 76 ENERO - JUNIO 2025 No. 1

CONTENIDO

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 7

ECONOMIC ANALYSIS OF RENEWAL METHODS IN COFFEE GROWING (CASE STUDY) 7

CARACTERIZACIÓN DEL TIEMPO DE CONSERVACIÓN DE CAFÉ EXCELSO EMPACADO AL VACÍO EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO. Valentina Osorio Pérez; Jenny Paola Pabón Usaquén; Claudia Patricia Gallego; Claudia Rocío Gómez Parra; Beatriz Eugenia Mira Rada 20

CHARACTERIZATION OF THE SHELF LIFE OF VACUUM-PACKED EXCELSO COFFEE UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS 20

EVALUACIÓN DEL GERMOPLASMA ETÍOPE COMO RECURSO PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *Coffea arabica* L. Juan Carlos Arias Suárez; Rubén Darío Medina Rivera 46

EVALUATION OF ETHIOPIAN GERMPLASM AS A RESOURCE FOR THE GENETIC IMPROVEMENT OF *Coffea arabica* L. 46

COMITÉ EDITORIAL

Marco Aurelio Cristancho A.	Ph.D. Biología Molecular. Fitopatología, Cenicafé
Carmenza Esther Góngora B.	Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
Aída Esther Peñuela M.	Ph.D. Ing. Alimentos. Poscosecha, Cenicafé
Diana María Molina V.	Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Luis Fernando Salazar G.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

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, prunning, 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-Orrego 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 intervenirse 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-Orrego 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 bajeras 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 cero" 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 m^2), 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).

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

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 dos cosechas y tres períodos improductivos; las podas pulmón y calavera tuvieron cuatro cosechas y dos períodos 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 períodos 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).

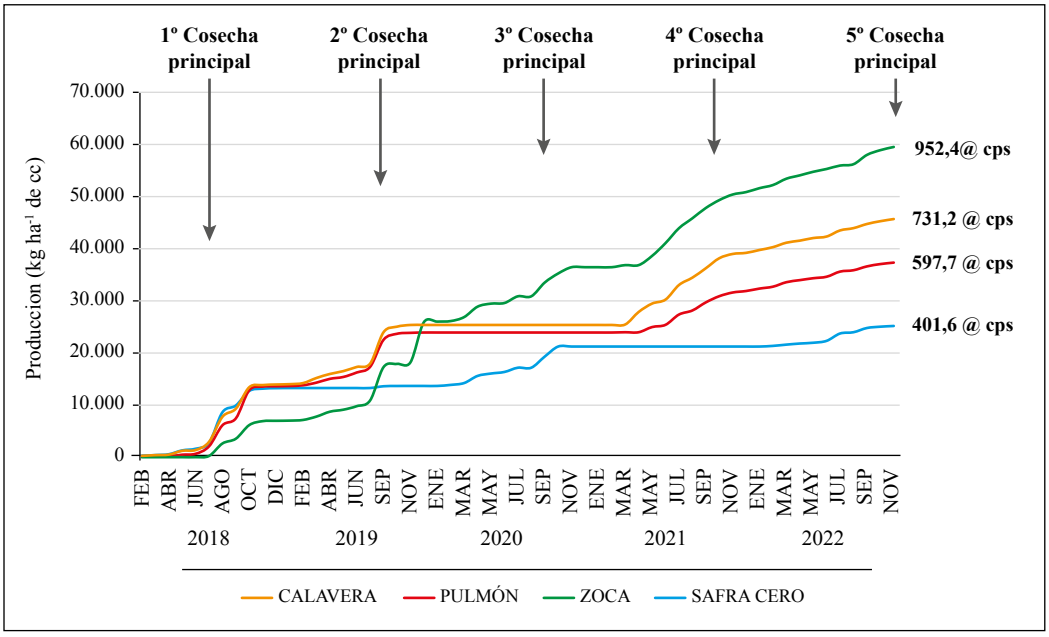

Figura 1. Registro de la producción acumulada de frutos de café cereza (cc) en los sistemas de renovación, hasta el mes 69.

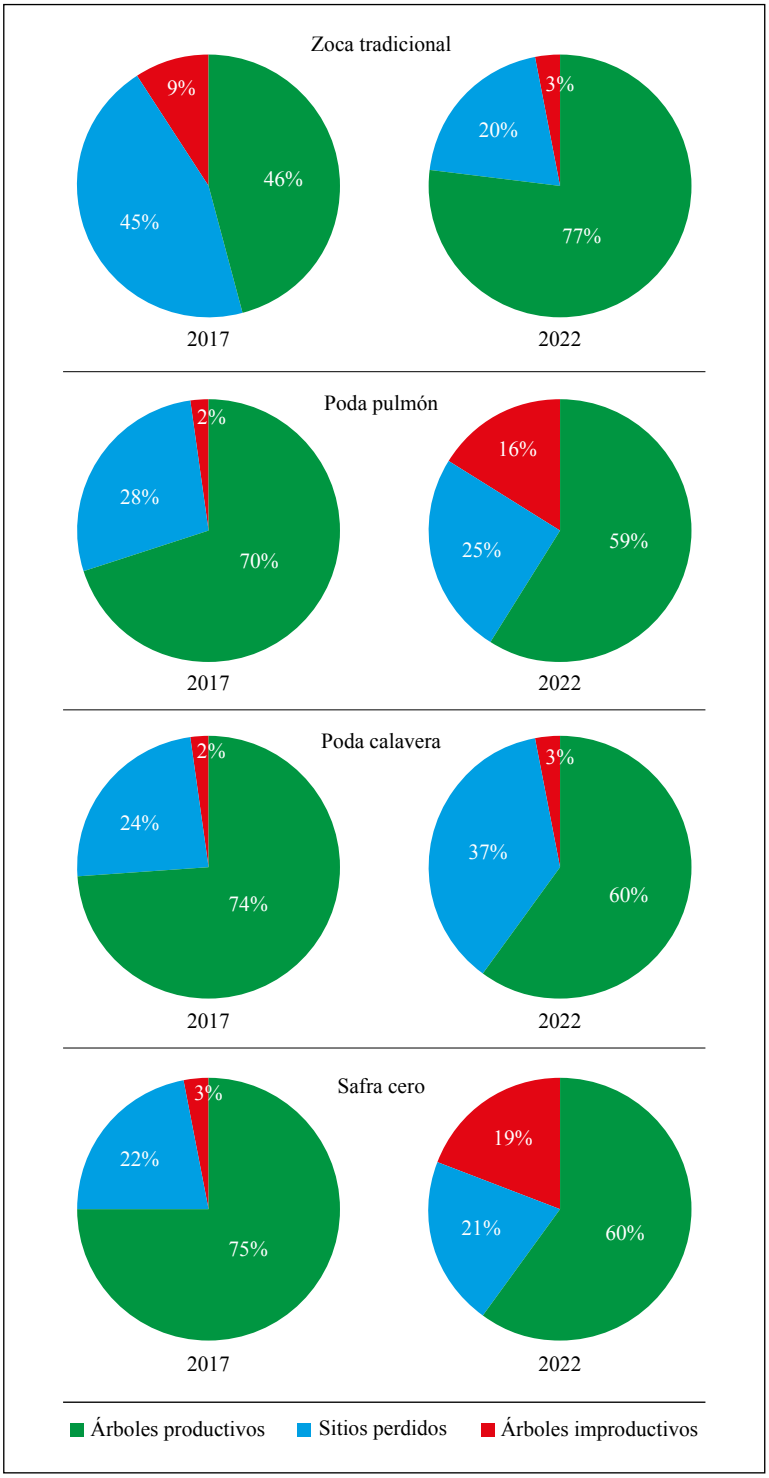

Figura 2. Evolución de sitios perdidos para los diferentes sistemas de renovación durante el ciclo de producción analizado.

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.

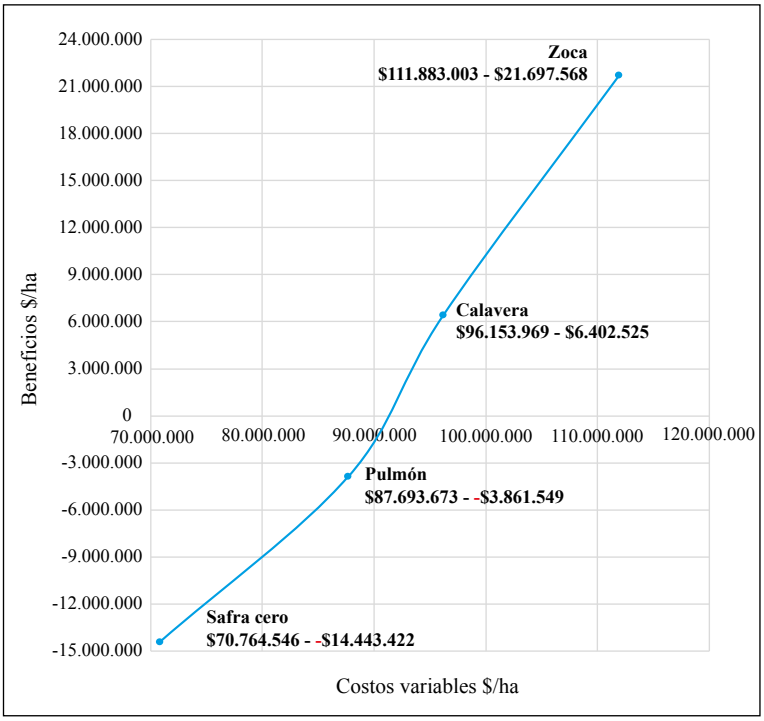

Figura 3. Curva de beneficios netos para los sistemas de producción intervenidos con podas.

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 PFP de la safra cero fue del 50%, la poda pulmón alcanzó una PFP 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., Guimarães, 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.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/269

Matiello, J.B., García, 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.

CARACTERIZACIÓN DEL TIEMPO DE CONSERVACIÓN DE CAFÉ EXCELSO EMPACADO AL VACÍO EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Paola Pabón Usaquén **, Claudia Patricia Gallego Agudelo **, Claudia Rocío Gómez Parra **, Beatriz Eugenia Mira Rada ***

Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C.P., Gómez, C. R., & Mira-Rada, B.E. (2025). Caracterización del tiempo de conservación de café excelso empacado al vacío en diferentes condiciones de almacenamiento. *Revista Cenicafé, 76*(1), e76102. https://doi.org/10.38141/10778/76102

El almacenamiento del café es una etapa clave en la conservación de las características físicas del grano y sensoriales de la bebida, consolidadas en las etapas de cultivo y procesamiento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la producción del alimento hasta su consumo estimado. Esta investigación evalúo el efecto del empaque al vacío en la vida útil del café verde almacenado durante 365 días, en cuatro condiciones contrastantes de almacenamiento. Adicionalmente, se definió su vida útil secundaria durante los 90 días posteriores a la pérdida de vacío, una vez abierto el empaque. En el almacenamiento primario del café excelso empacado al vacío hubo un incremento del contenido de humedad desde el 11,90% hasta 12,50% y de actividad de agua de 0,6146 hasta 0,6709 para el sitio con mayor temperatura (T) y humedad relativa (HR). En el sitio de almacenamiento primario con menor T y menor HR se conservó la calidad sensorial hasta los 365 días. Con respecto al almacenamiento secundario, las variaciones en la aparición de defectos dependieron de los cambios sufridos por el grano en las condiciones iniciales de almacenamiento primario. El café almacenado a mayor temperatura, a partir de los 120 días, presentó incremento del 66,66% de las muestras con defectos sensoriales, y a partir de los 240 días el 100%. Por medio del análisis de riesgos de Weibull se estimó una SL, para el café empacado al vacío y almacenado en condiciones de T=20°C y HR=80%, de 248 días.

Palabras clave: Actividad de agua, calidad, empaque, humedad relativa, vacío, vida útil.

CHARACTERIZATION OF THE SHELF LIFE OF VACUUM-PACKED EXCELSO COFFEE UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS

The storage of coffee is a critical stage for preserving the physical and sensory characteristics of the beverage, which are established during the cultivation and processing stages. Shelf life (SL) refers to the time elapsed between the production of a food product and its consumption, during which its physical, chemical, or microbiological properties remain unaltered under specified conditions. This study focused on characterizing and describing the period during which vacuum-packed green coffee retains its quality properties under four contrasting storage conditions over 365 days. Additionally, the secondary shelf life (SSL) was determined after vacuum loss, simulating a storage period of 90 days. During vacuum-packaged primary storage, an increase in moisture content from 11.90% to 12.50% and in water activity from 0.6146 to 0.6709 was observed at the site with the highest storage temperature (T) and relative humidity (RH). Conversely, in the storage site with lower T and RH, sensory quality was preserved for up to 365 days. In secondary storage, the appearance of defects depended on the changes in the beans caused by the initial primary storage conditions. Coffee stored at higher temperatures showed a progressive increase in sensory defects, with 66.66% of the samples exhibiting defects after 120 days and 100% after 240 days. Using Weibull risk analysis, the SL of vacuum-packed coffee stored at T=20 °C and RH=80% was estimated to be 248 days.

Keywords: water activity, quality, packaging, humidity, vacuum, shelf life.

* Investigador Científico II. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. https://orcid.org/0000-0002-1166-0165

** Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad, Cenicafé. https://orcid.org/0000-0003-1576-2297, https://orcid.org/0000-0002-1532-8055 y https://orcid.org/0000-0002-0685-8337

*** Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. https://orcid.org/0000-0001-5683-7190

El almacenamiento del café es una etapa clave en la conservación de las características físicas del grano y sensoriales de la bebida, consolidadas en las etapas de cultivo y procesamiento del fruto. Los granos de café, aún después del proceso de secado, continúan con actividades metabólicas como la respiración, donde consumen oxígeno, carbohidratos, grasas y proteínas, lo que origina la producción de dióxido de carbono y calor (Borém et al., 2021). Las condiciones óptimas del entorno de almacenamiento, es decir, el empaque, la temperatura y la humedad relativa del ambiente pueden reducir el riesgo de pérdida de calidad y evitar el incremento de la actividad microbiana que afecta la vida útil del café (Demianová et al., 2023); esta última, está íntimamente relacionada con la respiración del grano. La pérdida de vida útil, entendida como el envejecimiento del grano y pérdida de la calidad de la bebida, se da en ambientes de alta temperatura y alta humedad relativa, que sumadas al uso de empaques permeables, favorece el incremento de la respiración (Borém et al., 2021). Aunque hasta el momento no se cuenta con un método específico que preserve a largo plazo la calidad sensorial inicial del café, es necesario el desarrollo de alternativas que minimicen los cambios tanto físicos como químicos antes que afecten la calidad sensorial (Aung Moon et al., 2022).

La vida útil de los alimentos (SL por sus siglas en inglés Shelf Life), se define como el tiempo transcurrido entre la producción y el empaque hasta su consumo. Bajo ciertas condiciones específicas de almacenamiento, las características físicas, químicas y microbiológicas del alimento no se ven afectadas, manteniendo su vida útil. Por su parte, la vida útil secundaria (SSL por sus siglas en inglés Secondary Shelf Life), representa el tiempo transcurrido desde la apertura del empaque hasta el consumo total, período durante el cual el alimento no experimenta pérdidas significativas de calidad (Orfanou et al., 2019).

En el almacenamiento de los granos de café verde se producen cambios en los compuestos químicos que afectan la calidad sensorial del producto. El deterioro del grano es el resultado de procesos oxidativos de carbohidratos, lípidos y proteínas (Borém et al., 2021). Durante el almacenamiento, el café pergamino presenta una menor afectación por las condiciones del entorno en comparación con el café trillado; este último, a su vez, presenta una mejor preservación de sus características iniciales cuando está en temperaturas de refrigeración (Abreu et al., 2023). Por su parte, la vida útil del café verde para tueste (SL) y el café tostado para preparación de la bebida (SSL), se ve afectada por diversas reacciones de pérdida de calidad, que se producen con mayor rapidez debido a la interacción del grano con el oxígeno, la humedad y la temperatura (Orfanou et al., 2019).

La velocidad de los cambios químicos en los granos de café verde durante el almacenamiento, están influenciados por la calidad inicial y el método de procesamiento del fruto (vía seca o vía húmeda), la temperatura ambiental, la humedad relativa y la permeabilidad del empaque (Borém et al., 2021). Condiciones de temperatura del ambiente y de humedad relativa sin control reducen la calidad del café natural desde el primer día y en el café lavado a partir de los tres meses. Así también, un ambiente refrigerado conserva la calidad hasta los 12 meses (Abreu et al., 2023). La refrigeración es un método eficaz para la preservación de las características iniciales de los alimentos puesto que desacelera la respiración, el proceso de senescencia y las alteraciones químicas y enzimáticas, controlando el avance del deterioro del grano (Borém et al., 2023). En el almacenamiento de granos de café verde un ambiente refrigerado proporciona

efectos favorables, como resultado de mayores concentraciones de enzimas catalasa, peroxidasa y alcohol deshidrogenasa (Abreu et al., 2017).

En la cadena de comercialización, el uso de bolsas herméticas ha presentado una tendencia creciente en los últimos años. Diversos autores reportan que su uso puede mantener la calidad del café verde en almacenamiento hasta por siete meses (Donovan et al., 2019). No hay diferencia estadística entre diversos tipos de bolsas (dos o tres capas) (Borém et al., 2021). Durante los tres primeros meses de almacenamiento, Borém et al. (2021), no observaron diferencias sensoriales entre muestras de café natural y honey empacadas en empaques permeables e impermeables. A partir del sexto mes se registraron diferencias y estuvieron asociadas al tipo de procesamiento, resultando más afectada la calidad del café natural que la del café honey. Los empaques de alta permeabilidad como el yute o el fique, permiten el contacto de los granos con el oxígeno, al tiempo que favorecen una mayor interacción con las condiciones del ambiente, lo que puede generar variación del contenido de humedad del café, aumento en la respiración y actividad metabólica, deteriorando el sabor y generando sabores a madera, cartón y yute (Borém et al., 2023).

Borém et al. (2021), reportaron que la humedad de granos de café empacados en bolsas de papel, aumenta durante el almacenamiento y permanece estable en los granos empacados en bolsas herméticas. Ambientes de almacenamiento con temperaturas entre 20°C y 35°C y humedad relativa entre 52% y 75% producen un aumento del 4% en el contenido de humedad del grano y su correspondiente pérdida de color (Palacios-Cabrera et al., 2007). En el grano, contenidos de humedad superiores al 11,5%, aumentan la tasa respiratoria, provocando cambios químicos a partir de la oxidación de carbohidratos, lípidos y proteínas. Las condiciones que propician una mayor actividad metabólica y una mayor tasa de respiración, implican un uso de compuestos como los azúcares que son precursores del aroma y sabor de la bebida. Sin su presencia, dominan los carbohidratos de alto peso molecular como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina, esta podría ser la razón por la que los descriptores sensoriales del café reposado se relacionan con el papel y la madera (Abreu et al., 2023). Para la calidad sensorial, independientemente del empaque utilizado, a partir de los seis meses aumenta la percepción a café reposado (sabor a madera) en los cafés almacenados en condiciones sin control de temperatura (Borém et al., 2023).

En esta investigación se evalúo el efecto del empaque al vacío en la vida útil del café verde (SL) almacenado durante 365 días en cuatro condiciones contrastantes de almacenamiento (temperaturas y humedades relativas) y se definió su vida útil secundaria (SSL) cuando el empaque era abierto. Después de perdido el vacío, las muestras de café se almacenaron y se evaluaron durante tres meses posteriores para identificar el tiempo en el cual se deteriora la calidad sensorial y se define la aparición del defecto reposo (SSL).

MATERIALES Y MÉTODOS

Café. Frutos de café de la especie *Coffea arabica* L., variedad Castillo®, provenientes de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), se recolectaron en la cosecha principal del año 2021, asegurando la máxima concentración de café maduro (1.500 kg). Se realizó un procesamiento estándar, con un porcentaje de frutos verdes inferior al 2,5%, en un tiempo inferior a seis horas después de la recolección, se eliminó el exocarpio por medio de una despulpadora 2.500 horizontal con zaranda circular (JM Estrada, Colombia). Posteriormente, se removió

el mucílago mediante fermentación espontánea, con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro®, finalizando con secado mecánico, con temperatura de 45°C hasta alcanzar un contenido de humedad entre el 10,0% y el 11,5%. Se realizó la trilla de café y selección de la almendra sana, eliminando los defectos físicos. El café utilizado para los tratamientos fue el retenido por encima de la malla número 14/64.

Almacenamiento primario. El efecto de la conservación de la calidad inicial del café (SL) en el empaque al vacío se evaluó en cuatro diferentes condiciones de almacenamiento, durante 365 días. El café excelso se distribuyó en 48 unidades experimentales, correspondientes a cuatro tiempos de muestreo (60, 120, 240 y 365 días), por cuatro sitios de muestreo y tres repeticiones (Figura 1). Adicionalmente se tomó una muestra en el tiempo cero para la caracterización inicial de la calidad del café que iba a ser sometido al almacenamiento. El material de empaque utilizado fue polietileno de baja densidad y poliamida (nylon). El oxígeno se redujo aplicando vacío parcial a través del equipo Minipack®-torre. Los sitios de almacenamiento inicial fueron Alto de Letras (Manizales) (LT), cuarto frío (Cenicafé) (CF), Chinchiná (NA) y Santa Marta (SM). Las condiciones promedio de temperatura y humedad relativa para los sitios fueron: 10,3°C, 11,3°C, 22,6°C y 28,0°C y 72%, 77%, 81% y 80% respectivamente. Las características de calidad del grano de café del tiempo final en el almacenamiento primario corresponden al tiempo inicial (tiempo cero) del almacenamiento secundario.

Almacenamiento secundario. Posterior a los cuatros tiempos de almacenamiento inicial (60, 120, 240 y 365 días) de las muestras empacadas al vacío, se abrió el empaque y se tomaron las muestras de café a las cuáles se les realizaron los respectivos análisis de calidad. Estos resultados configuraron las características del tiempo cero del almacenamiento secundario (Figura 1). Posterior a esto, la unidad experimental se dividió en tres sub-muestras, que fueron almacenadas en empaque plástico hermético (doble barrera de polietileno de alta y baja densidad). Estas sub-muestras se analizaron a los 30, 60 y 90 días después de eliminado el vacío. Las condiciones generales de almacenamiento fueron temperatura ambiental de 18°C y humedad relativa de 60%. Lo anterior configuró el almacenamiento secundario del café y para estas muestras se estimó la vida útil secundaria (SSL).

Calidad física. De cada unidad experimental se tomó una muestra compuesta para la determinación del contenido de humedad, actividad de agua y colorimetría. El contenido de humedad se verificó por el método directo estándar, siguiendo los procedimientos de la norma ISO 6673 a 105°C (International Organization for Standardization, 2003). Para cada muestra se tomó el promedio de dos mediciones tanto de actividad de agua como para su respectivo contenido de humedad.

La actividad de agua se determinó con el equipo Lab Master Neo (Novasina, Alemania), con control de temperatura de medición (25°C). Los valores se determinaron mediante el método manual, donde el equilibrio del valor se determina teniendo como base la estabilidad de la lectura, lográndose cuando la variación no superaba ±0,003 durante dos minutos.

El color de los granos de café se obtuvo cuantitativamente con la escala CIEL*a*b* con el equipo Chroma Meter CR410 (Konica Minolta, Japón). El modelo de color define tres parámetros: el primero es la coordenada L* que representa la luminosidad del color, siendo 0 negro y 100 blanco; la segunda

coordenada es la a* que indica la posición entre rojo y verde, valores negativos indican verde mientras que valores positivos rojo y por último la coordenada b* que representa el cambio de azul (valores negativos) a amarillo (valores positivos).

Calidad sensorial. Para el análisis sensorial del café se utilizó el protocolo de la Specialty Coffee Association (2015), con cinco catadores certificados Q–Grader por el CQI (Coffee Quality Institute). La metodología incluye el protocolo de preparación de la muestra para el análisis: proporción de café/agua, tipo de molienda, temperatura y calidad del agua, además de temperaturas de análisis. Los catadores registraron diez atributos del sabor del café entre los que se encuentran: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador y defectos sensoriales. El puntaje total se configura por la sumatoria de los valores de los atributos positivos disminuyendo el valor del defecto sensorial. Los atributos son evaluados en una escala de diez puntos representando el nivel de calidad en una tabla entre seis y nueve puntos. Puntajes totales superiores a 80 puntos clasifican el café como de especialidad por calidad sensorial.

Composición química. La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano), con el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS. Se pesaron 110 g de granos de café entero y se dispusieron en dos celdas rectangulares. Las muestras fueron leídas en un rango de longitud de onda de 400 nm – 2.490 nm. A través de modelos de calibración previamente desarrollados y con la información espectral de las muestras, se procedió a realizar la determinación (%) de los siguientes compuestos químicos: composición de ácidos grasos, cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales y sacarosa presentes en el café almendra verde. El error relativo de predicción, que permite conocer la diferencia entre el valor real (obtenido por métodos analíticos de referencia) y el valor obtenido por la técnica NIRS, reportado para estos modelos son: cafeína 0,015%, trigonelina 0,027%, ácidos clorogénicos totales 0,007%, lípidos totales 0,003% y sacarosa 0,007% (Gómez et al., 2023).

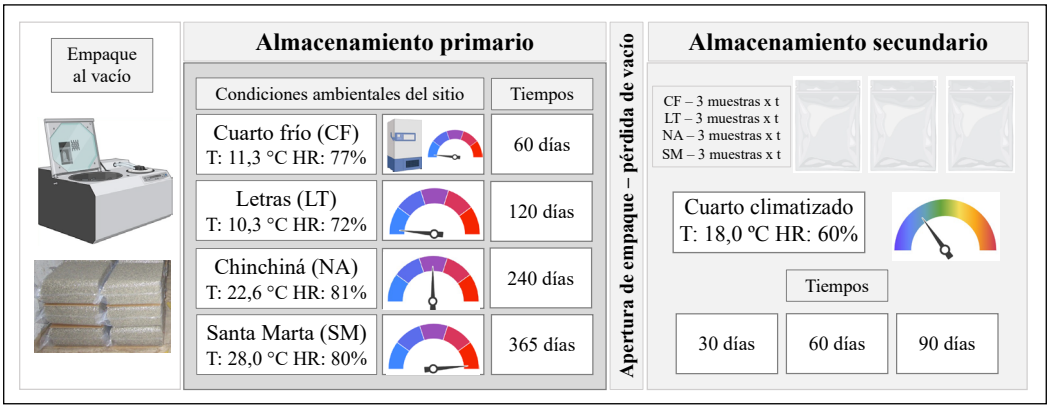

Figura 1. Metodología de los almacenamientos primario y secundario. T: temperatura, HR: humedad relativa, t: tiempo.

Estimación de la vida útil mediante el análisis de riesgos de Weibull. El análisis de riesgos de Weibull es un método gráfico utilizado para determinar la vida útil de los alimentos (Fu & Labuza, 1997). En este método, la función de riesgo acumulativo de la distribución de Weibull se utiliza de la siguiente manera (Ecuación <1>) (Orfanou et al., 2019).

$$H(t) = \int_0^t h(x)dx = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \qquad <1>$$

Donde $H(t)$ es la función de riesgo acumulativa, $h(x)$ es la función de riesgo, t es el tiempo, α es el parámetro de escala y β es el parámetro de forma. Cuando el logaritmo del tiempo log t se representa gráficamente frente al logaritmo de los valores de riesgo acumulado log ΣH, la ecuación resultante es lineal (Ecuación <2>) (Orfanou et al., 2019).

$$\log t = \left(\frac{1}{\beta}\right) log\Sigma H + log\alpha \qquad <2>$$

La vida útil puede calcularse como el tiempo en el que el valor acumulativo de peligro es del 69,3%, lo que corresponde al 50% de probabilidad de disminución de un atributo de calidad específico (Fu & Labuza, 1997). La distribución de Weibull es asimétrica cuando $2 < \beta < 4$, lo que permite una mejor estimación de la vida útil (Cardelli & Labuza, 2001). Se utilizó el panel de catación para identificar la presencia del defecto sensorial reposo, pues este define la aceptabilidad del producto posterior al almacenamiento tanto primario (empacado al vacío hasta 365 días) como secundario (muestra proveniente de empaque al vacío en diferentes sitios y después abierto y monitoreado hasta 90 días). Con los resultados de los analistas sensoriales se clasificaron las muestras con y sin defectos sensoriales (aceptables y no aceptables) por sitio y tiempo de muestreo.

Se creó una tabla de clasificación de peligrosidad junto con los valores H de peligrosidad y ΣH de peligrosidad acumulada. Los valores de peligro resultaron de dividir 100 por el rango dado a cada muestra no aceptable. El logaritmo del tiempo *log t* se representó gráficamente frente al logaritmo de los valores de peligro acumulados log ΣH y se calculó el tiempo de conservación para un valor de peligro acumulado del 69,3% (50% de probabilidad de que los analistas que califiquen las muestras como no aceptables) (Orfanou et al., 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almacenamiento primario

Contenido de humedad y actividad de agua. El contenido inicial promedio de humedad de los granos de café fue de 11,9%. El contenido mínimo se encontró en Santa Marta (SM) con 60 días de almacenamiento con un valor de 11,68%, por otro lado, el valor promedio máximo se encontró en los 240 días en los sitios de almacenamiento cuarto frío Cenicafé (CF) y Chinchiná (NA) con el mismo valor promedio de 12,50%. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 11,74%, 11,70%, 11,92% y 11,99% para los tiempos de almacenamiento primario de 60, 120, 240 y 365 días, respectivamente. Para estos mismos días el almacenamiento en el CF evidenció valores de 11,86%, 11,98%, 12,50% y 11,87%, el sitio NA 11,89%, 12,09%, 12,50% y 12,25% y el sitio SM 11,68%, 11,83%, 12,03% y 12,06%. Aunque se evidencia un incremento del porcentaje inicial hasta valores de 12,50% debido a la naturaleza higroscópica de los granos de café que favorece el intercambio del vapor de agua con el ambiente cuando la

bolsa es permeable, se observa el efecto del empaque en la conservación de la humedad, aun en condiciones de alta humedad relativa del ambiente como es Santa Marta (81%). Palacios-Cabrera et al. (2007) estudiaron el efecto de la temperatura y la humedad relativa (HR) durante el transporte del café verde en el contenido de humedad, y se comprobó que aumentos del 5% al 10% en la HR conducen a un aumento del 3% en el contenido de humedad de los granos.

El valor promedio de la actividad de agua correspondiente al contenido de humedad de 11,9% fue de 0,6146. Las variaciones del valor de la actividad de agua durante los cuatro tiempos de muestreo (60, 120, 240 y 365 días) para los sitios fue: LT: 0,6135, 0,5966, 0,6261 y 0,6210; CF: 0,6222, 0,5962, 0,6243 y 0,6027; NA: 0,6178, 0,6126, 0,6382 y 0,6271; y SM: 0,6280, 0,6324, 0,6566 y 0,6709. El valor mínimo de 0,5895 se reportó en Letras en el segundo tiempo de muestreo (120 días), correspondiente a una humedad de 11,66%. Por otro lado, el valor máximo se encontró en el sitio Santa Marta en el último muestreo (365 días) con 0,6819 correspondiente a un contenido de humedad del grano de 12,14%. Los contenidos de humedad superiores al 11,5% aumentan la tasa respiratoria de los granos generando cambios en la composición química (Ribeiro et al., 2011). Borém et al. (2021), contrastaron los contenidos de humedad de los granos empacados en bolsas de papel y en bolsas herméticas, evidenciando que las primeras aumentaron su contenido durante 18 meses de almacenamiento, mientras que en las segundas el contenido de humedad permaneció estable, lo que indicó la eficacia de las barreras de vapor de agua de estos empaques.

Colorimetría. La coordenada L* es un valor que indica el cambio del negro al blanco, este cambio en el grano de café puede indicar el blanqueamiento. En la Figura 2 se presentan los valores promedio de las coordenadas L*, a* y b*, para cada sitio y por cada período. El valor máximo promedio de L* fue de 83,93 y se encontró en Santa Marta a los 365 días de almacenamiento. La diferencia máxima entre el valor inicial y final de L* se reporta en este mismo sitio con un aumento de 7,01. Los valores máximos y mínimos de la coordenada de color a* se encontraron en el sitio de almacenamiento Santa Marta, con valores de -1,50 y -2,64, en los días 60 y 365 días, respectivamente. La coordenada b* que indica el cambio hacia el color amarillo, presentó los valores máximos en el sitio Santa Marta, incrementado desde valores de 13,18, a los 60 días, a valores de 18,90 en el último muestreo, implicando un aumento del 43,39% en esta variable. Lo anterior podría indicar que, en el almacenamiento de granos, aún en empaque de alta barrera y vacío, las condiciones de alta humedad y alta temperatura favorecen el cambio del color del grano. Anokye-Bempah et al. (2023) reportan que el café verde empacado en envases herméticos presenta valores de L* más bajos y con menor variabilidad en comparación con el café verde envasado en sacos de yute, indicando un blanqueamiento considerable del grano cuando es empacado en este último. Las menores variaciones en los valores de L* observadas en el café empacado en envases herméticos indican que estos tratamientos mantuvieron el color del café verde durante todo el experimento.

Calidad sensorial. La calidad sensorial del café antes del almacenamiento primario, obtuvo un puntaje total SCA de 81,92. Durante los cuatro muestreos posteriores, el 64,58% de las muestras no presentaron defectos sensoriales con un promedio de puntaje total SCA de 80,89. Posterior al almacenamiento primario, el 4,16% de las muestras presentaron defecto terroso y el 22,91% reposo. Para el sitio de almacenamiento LT (Letras), durante los cuatro tiempos de muestreo en el almacenamiento

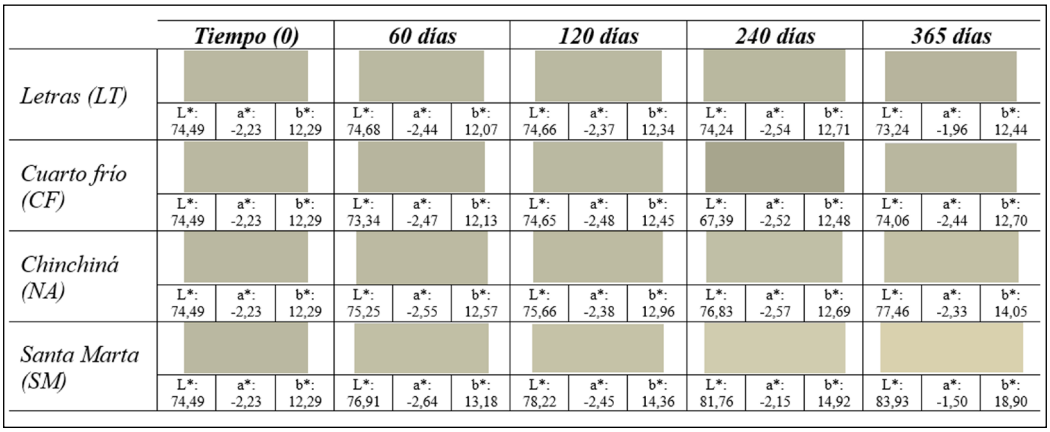

Figura 2. Colorimetría del café durante el almacenamiento primario

primario, la calidad sensorial se conservó hasta el día 365 sin presentar defectos sensoriales. Para el CF en el muestreo correspondiente a 365 días de almacenamiento se presentó defecto terroso en el 66,66% de las muestras. Un comportamiento similar se presentó con las muestras de sitio NA; en este mismo tiempo de muestreo se presentó el defecto reposo en el 100% de las muestras. Por otro lado, en el sitio de almacenamiento SM a partir del muestreo de los 120 días, se observó un incremento del porcentaje de muestras con defectos sensoriales con 66,66% y en los dos siguientes (240 y 365 días) con el 100% de las muestras con defecto reposo. Las condiciones que propician una mayor tasa de respiración del grano y una mayor actividad metabólica, favorecen el consumo de diferentes compuestos orgánicos, entre ellos, los carbohidratos de bajo peso molecular, como los azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa). Una disminución de estos compuestos precursores del aroma y sabor de la bebida, promueven los sabores provenientes de carbohidratos de alto peso molecular como la hemicelulosa, celulosa y lignina, relacionados con el papel y la madera característicos y discriminantes del café reposado (Abreu et al., 2023; Zarebska et al., 2022).

El mayor porcentaje de defectos en el sitio de almacenamiento SM puede estar relacionado con la mayor temperatura del ambiente de 28,0°C en comparación con la temperatura del sitio LT de 10,3°C donde la calidad se conservó durante los 365 días de almacenamiento primario. Aung Moon et al. (2022) reportan que mayores temperaturas de almacenamiento influyen significativamente en la disminución de la calidad del café verde; adicionalmente, reportan una mejor conservación de la calidad del café al ser empacado en bolsas Grainpro (GP) en comparación con el conservado en costales tejidos de polipropileno (estopa). Por su parte, Abreu et al. (2019) reportan que el café natural almacenado durante 18 meses en empaque de alta barrera y al vacío conservaban sus cualidades sensorial iniciales y sus puntuaciones eran superiores a 80 puntos después de transcurrido este tiempo.

Composición química. El ácido graso palmítico presentó un valor de 42,06% en el tiempo cero y la mayor disminución se observó en el sitio CF a los 240 días con un valor de 38,64%, mientras que la menor disminución se reportó para el sitio SM a los 365 días con un valor de 40,15%. El ácido linoleico

en el tiempo cero presentó un valor promedio de 35,05% y durante los diferentes tiempos de almacenamiento presentó disminuciones, siendo la mayor en el muestreo de 365 días, en el sitio SM con un valor de 31,60%. El ácido oleico (monoinsaturado) presentó un comportamiento diferente al linoleico, pues sus valores incrementaron y el valor máximo promedio se observó en el sitio LT en el día 120 con un valor de 11,09%. Los diversos cambios en los compuestos de la fracción lipídica del grano pueden indicar el deterioro del mismo. Durante el almacenamiento, la hidrólisis de la materia grasa comienza antes que la de los carbohidratos o las proteínas. La liberación de ácidos grasos, indica pérdida de la integridad de las paredes celulares y las cadenas de aquellos insaturados pueden ser fácilmente oxidadas a hidroperóxidos, que posteriormente se convierten en compuestos de bajo peso molecular que generan sabores desagradables (Borém et al., 2019; Coradi et al., 2007; Rendón et al., 2014; Toci et al., 2013).

El ácido esteárico presentó un valor promedio de 7,82% en el café antes del almacenamiento; este valor disminuyó en todos los sitios y en los diferentes tiempos de muestreo. La menor disminución se evidenció en el sitio SM en el día 365 con un valor de 7,23%. Por su parte, el ácido araquídico, que es el ácido graso con menor porcentaje en la composición total de los ácidos grasos libres, presentó un valor inicial de 3,26%. Al igual que el esteárico, el ácido araquídico disminuyó en los tratamientos evaluados, pero a diferencia de este, la mayor disminución se presentó en el sitio SM con 365 días. Los granos de café verde tienen un bajo contenido de humedad y un alto contenido de lípidos, compuestos por una alta proporción de ácidos grasos insaturados en comparación con los ácidos grasos saturados. Lo anterior favorece la oxidación lipídica que produce olores rancios y repercute negativamente en la calidad (Aung Moon et al., 2022). Las temperaturas más altas y el mayor tiempo de almacenamiento provocan un mayor grado de oxidación de los lípidos y cambios en la calidad.

El contenido de sacarosa inicia con valores de 8,02% y disminuye a valores de 7,41% en los sitios CF y LT, de 7,49% en NA y de 7,44% en SM, en el día 365 de almacenamiento. La cafeína y la trigonelina presentaron ligeros incrementos durante el almacenamiento y para ambos el mayor valor se reportó en el sitio SM a los 365 días de muestreo con valores de 1,39% y 1,08%. Los ácidos clorogénicos totales, al igual que los alcaloides, presentaron incrementos en su valor para todos los tratamientos evaluados. El menor incremento se observó en el tiempo de 365 días en el sitio Naranjal (NA) con un valor de 6,04% y el mayor valor se obtuvo en el sitio Santa Marta (SM) con 6,31%. Para los lípidos se observa el mismo comportamiento que los ácidos clorogénicos totales, un incremento a medida que pasa el tiempo de almacenamiento. El valor inicial fue de 11,26% y este incrementó a valores de 11,55% (CF), 11,41% (LT), 12,19% (NA) y 14,15% (SM). Los mayores incrementos en los contenidos de lípidos totales se reportan en los sitios NA y SM, sitios cuyas condiciones ambientales son de mayor temperatura y humedad relativa. Las atmósferas con mayores concentraciones de dióxido de carbono retardan la disminución del contenido de ácidos de los granos, lo que sugiere que empaques de alta barrera favorecen una mayor preservación del café debido a la conservación de los ácidos orgánicos. Durante el almacenamiento los alcaloides como la cafeína presentan una mayor estabilidad en comparación con los ácidos clorogénicos. Su concentración no presenta cambios asociados al tipo de empaque o la temperatura de almacenamiento, pero su aumento a lo largo del almacenamiento puede deberse a la

pérdida de otros compuestos hidrosolubles. La combinación de bajas temperaturas y envases de alta barrera puede ser ideal para prevenir la oxidación de los ácidos clorogénicos (Borém et al., 2023; Król et al., 2020; Tripetch & Borompichaichartkul, 2019).

Estimación de la vida útil primaria

La vida útil restante de un producto tras la apertura del envase se define como la SSL del producto (Orfanou et al., 2019). La actividad del agua y la temperatura de almacenamiento podrían considerarse los principales factores que afectan a la calidad del café durante el almacenamiento secundario (SSL). El análisis de riesgo y la distribución de probabilidad de Weibull y la evaluación sensorial de las características sensoriales del café pueden utilizarse para evaluar la pérdida de calidad durante el almacenamiento y predecir la vida útil secundaria.

Para la estimación de la vida útil primaria, se construyó la Tabla 1 con el número de calificaciones no aceptables dadas por los analistas sensoriales, debido a la presencia de defectos. Se observa que para los sitios CF (cuarto frío) y NA (Naranjal) las calificaciones negativas aparecen solamente en el último tiempo de muestreo (365 días), mientras que el sitio LT no presentó muestras con defectos en ninguno de los cuatro tiempos de muestreo. Lo anterior impide que pueda realizarse la estimación del tiempo de vida útil en estos sitios, pues los defectos aparecen en su totalidad en el tiempo final del almacenamiento. Por su lado el sitio SM (Santa Marta) presenta defectos desde el segundo tiempo de muestreo (120 días) hasta el final del almacenamiento primario (Tabla 1).

La Tabla 2 presenta los valores de riesgo acumulados para los días de almacenamiento evaluados. Posteriormente, se graficó el logaritmo del tiempo (log (t)) vs el logaritmo de los valores de riesgo acumulado (log (ΣH)) (Figura 3), obteniendo la Ecuación <3>. El factor de forma β, calculado como 1/pendiente, tuvo un valor de 2,96, indicando que se encuentra dentro del intervalo no asimétrico necesario para la estimación de la vida útil. El valor crítico estimado para la vida útil primaria, descrito como el momento en que el 50% del panel de catación califican las muestras como no aceptables (ΣH=69,3%), para el café empacado al vacío y almacenado en Santa Marta (T=20°C y HR=80%) fue de 248 días.

$$\log(t) = 0{,}3374 \times \log(69{,}31) + 1{,}7743 \quad (R^2 = 0{,}8186) \qquad <3>$$

Tabla 1. Frecuencia de calificaciones negativas en el almacenamiento primario.

Sitio	60 días	120 días	240 días	365 días
CF (Cuarto frío)	0	0	0	10
LT (Letras)	0	0	0	0
NA (Chinchiná)	0	0	0	15
SM (Santa Marta)	0	10	15	15

Tabla 2. Rangos de riesgo de Weibull para café empacado al vacío y almacenamiento primario en SM (Santa Marta).

Rango	Días	H	Sum H
40	120	2,50	2,50
39	120	2,56	5,06
38	120	2,63	7,69
37	120	2,70	10,39
36	120	2,77	13,17
35	120	2,85	16,03
34	120	2,94	18,97
33	120	3,03	22,00
32	120	3,12	25,13
31	120	3,22	28,35
30	240	3,33	31,68
29	240	3,44	35,13
28	240	3,57	38,70
27	240	3,70	42,41
26	240	3,84	46,25
25	240	4,00	50,25
24	240	4,16	54,42
23	240	4,34	58,77
22	240	4,54	63,31
21	240	4,76	68,08
20	240	5,00	73,08
19	240	5,26	78,34
18	240	5,55	83,89
17	240	5,88	89,78
16	240	6,25	96,03
15	365	6,66	102,69
14	365	7,14	109,84
13	365	7,69	117,53
12	365	8,33	125,86
11	365	9,09	134,95
10	365	10,00	144,95
9	365	11,11	156,06
8	365	12,50	168,56
7	365	14,28	182,85
6	365	16,66	199,52
5	365	20,00	219,52
4	365	25,00	244,52
3	365	33,33	277,85
2	365	50,00	327,85
1	365	100,00	427,85

H y ΣH representan los valores de peligro y peligro acumulativo H, respectivamente.

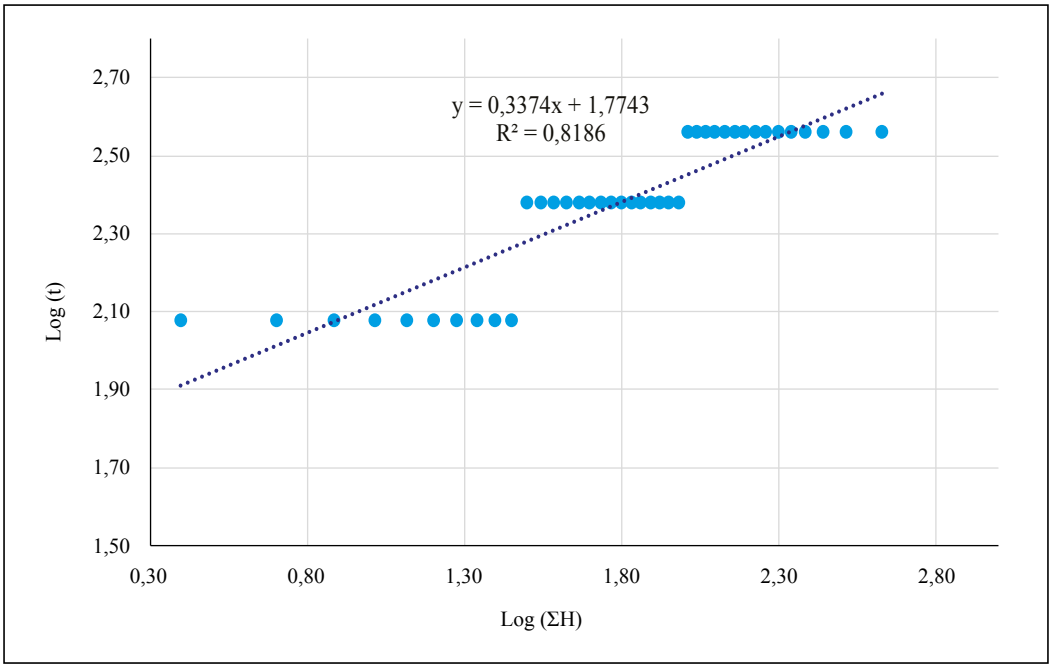

Figura 3. Diagrama de riesgos de Weibull (log t vs con log ΣH) para café empacado al vacío y almacenamiento primario en SM (Santa Marta).

Almacenamiento secundario

Contenido de humedad y actividad de agua. El contenido inicial de humedad promedio de los granos de café antes de iniciar el almacenamiento secundario fue de 11,99%. El promedio de contenido de humedad de las muestras a los 30, 60 y 90 días fue de 12,17%, 11,91% y 11,87% respectivamente. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 12,16%, 11,90% y 11,84%, para el sitio CF evidenció valores de 12,23%, 11,92% y 11,92%, el sitio NA 12,21%, 11,96% y 11,92% y el sitio SM 12,06%, 11,84% y 11,79%. A pesar de la eficacia de los envases herméticos para proteger el café, existe cierta interacción de los granos con las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el transporte, debido a posibles daños en los empaques pero también asociado a la naturaleza de las variaciones de la temperatura y la humedad relativa (Borém et al., 2013). Las interacciones del grano con las condiciones ambientales que conlleva al aumento del contenido de agua durante el almacenamiento produce cambios indeseables en la composición físico-química de los granos (Ribeiro et al., 2011). Anokye-Bempah et al. (2023) reportan incrementos en el contenido de humedad del grano con valores desde 10,76±0,2% (Aw = 0,57) hasta 17,34±0,6% en el café empacado en sacos de yute.

El valor inicial promedio de actividad de agua de los granos de café antes de iniciar el almacenamiento secundario fue de 0,6243. El promedio de las muestras a

los 30, 60 y 90 días fue de 0,6207, 0,6256 y 0,6230, respectivamente. Para el sitio de almacenamiento Letras (LT) este contenido mostró valores promedio de 0,6114, 0,6142 y 0,6157; para el sitio CF (Cuarto frío) evidenció valores de 0,6085, 0,6178 y 0,6128; el sitio NA presentó valores de 0,6221, 0,6235 y 0,6204 y el sitio SM los valores medios más altos de 0,6410, 0,6469 y 0,6431. Aunque se observa un aumento en las muestras provenientes del sitio SM (Santa Marta) no se observan datos (>0,7) que sugieran condiciones que incrementaran la dinámica poblacional fúngica favoreciendo la producción de OTA en el grano de café. Elevadas temperaturas, humedad relativa y disminución de los azúcares reductores se relacionan con el desarrollo de las poblaciones fúngicas y durante este proceso la sacarosa presente en el grano puede hidrolizarse para producir azúcares reductores (Iamanaka et al., 2014; Maman et al., 2021; Palareti et al., 2016).

Colorimetría. El valor mínimo de la coordenada L* fue 69,24 y se presentó en la muestra proveniente del sitio de almacenamiento CF (cuarto frío) en el tercer mes de almacenamiento secundario, mientras que el máximo valor de esta misma coordenada se observó en la muestra proveniente del sitio SM (Santa Marta) en el tercer mes de almacenamiento secundario con un valor de 80,93. Los valores de la coordenada a* mostraron su valor máximo de -1,90 en el segundo mes en la muestra proveniente de Santa Marta y el valor mínimo de -2,63 en el primer mes en NA (Chinchiná). Para la coordenada de color b* el mayor valor se reportó en la muestra del sitio SM (Santa Marta) en el primer mes de almacenamiento secundario con 16,00 y el menor en CF en el mes inicial. Al igual que en el almacenamiento primario las condiciones ambientales de SM generaron mayores cambios en los valores de las coordenadas de color L* y b*, que pueden relacionarse con el blanqueamiento y amarilleamiento de los granos (Figura 4). Anokye-Bempah et al. (2023), reportan blanqueamiento en café empacado en sacos de yute aun con el uso de desecantes, con aumentos de los valores de L* de 51 y 52, respectivamente, al final del experimento.

	Tiempo (0)			*30 días*			*60 días*			*90 días*		
Letras (LT)	L*: 73,84	a*: -2,00	b*: 12,17	L*: 74,53	a*: -2,58	b*: 12,56	L*: 72,62	a*: -2,19	b*: 12,15	L*: 75,84	a*: -2,54	b*: 12,69
Cuarto frío (CF)	L*: 72,90	a*: -2,51	b*: 12,07	L*: 73,06	a*: -2,51	b*: 12,36	L*: 74,25	a*: -2,29	b*: 12,51	L*: 69,24	a*: -2,60	b*: 12,81
Chinchiná (NA)	L*: 75,65	a*: -2,46	b*: 12,91	L*: 76,82	a*: -2,63	b*: 13,35	L*: 76,75	a*: -2,27	b*: 13,43	L*: 75,98	a*: -2,47	b*: 12,57
Santa Marta (SM)	L*: 79,02	a*: -2,22	b*: 15,26	L*: 80,70	a*: -2,36	b*: 16,00	L*: 80,15	a*: -1,90	b*: 15,69	L*: 80,93	a*: -2,28	b*: 14,41

Figura 4. Colorimetría del café durante el almacenamiento secundario.

Calidad sensorial. Al finalizar el almacenamiento primario (tiempo cero del secundario) el 72,91% de las muestras no presentaron defecto sensorial, pero este porcentaje fue disminuyendo en los tres tiempos de muestreo posteriores (30, 60 y 90 días) a valores de 45,83%, 41,66% y 33,33% respectivamente. Los defectos sensoriales predominantes fueron el terroso y el reposo que iniciaron con porcentajes de 4,16% y 22,91% y finalizaron con valores de 25,00% y 41,67% en el almacenamiento secundario, respectivamente. Los cambios en las características sensoriales se deben generalmente a la pérdida de compuestos aromáticos clave y a la aparición de productos de oxidación derivados de la degradación de lípidos con formación de peróxidos que provocan sabores desagradables (Giulia et al., 2023).

Las muestras de café almacenadas en CF conservaron su calidad inicial de la siguiente manera: Café sin defecto sensorial durante 60 días de almacenamiento primario y hasta 60 días de almacenamiento secundario y almacenamiento primario de 120 días y 90 días de almacenamiento secundario.

En el almacenamiento primario de 240 días y posterior a los 60 días almacenamiento secundario el 100% de las muestras presentaron defectos sensoriales.

Las muestras almacenadas primariamente en LT (Letras) no presentaron defectos sensoriales hasta los 365 días de almacenamiento. En este mismo sitio el total de las muestras no presentaron defectos en el almacenamiento secundario (hasta 90 días) en las muestras provenientes de los tiempos 120 y 240 días de almacenamiento primario. Un comportamiento diferente se presentó en las muestras provenientes de los cuatro tiempos de almacenamiento primario en SM, el café almacenado 60 días en Santa Marta y posterior apertura del empaque para el almacenamiento secundario, desde los 30 días se incrementan los defectos y se presentan 100% de defectos sensoriales en las muestras a partir de 60 días de almacenamiento inicial y 90 días de almacenamiento posterior. Este comportamiento es similar para las muestras con almacenamiento primario en NA, a partir del tiempo primario de almacenamiento 120 días y secundario de 90 días, el 100% de las muestras provenientes de este sitio NA (Chinchiná) presentaron defecto. La aparición de defectos sensoriales en los diferentes tiempos del almacenamiento secundario es variable pues depende de los cambios sufridos por el grano durante las condiciones iniciales de almacenamiento primario. La hidrólisis de los triacilgliceroles durante el almacenamiento del café libera ácidos grasos (AG) que se oxidan en presencia de oxígeno, dando lugar a otros compuestos volátiles como los aldehídos, asociados a un sabor y aroma desagradables. Sin embargo, la liberación de AG no es uniforme y la degradación difiere entre los ácidos (Coradi et al., 2007).

En cuanto a las variables sensoriales, se tienen la fragancia y el sabor como las variables que tienen un grado más alto de relación con el puntaje total SCA (Tabla 4). De acuerdo con los resultados, a más fragancia y sabor, mayor será el puntaje otorgado a la muestra. La Tabla 5 presenta los estadísticos descriptivos de la fragancia y el sabor de las muestras en las dos localidades más contrastantes (Letras LT y Santa Marta SM), en cada uno de los tiempos de evaluación.

Tabla 3. Puntaje total SCA durante el almacenamiento de muestras de café empacadas al vacío. *Alto de Letras (Manizales) (LT), cuarto frío (Cenicafé) (CF), Chinchiná (NA) y Santa Marta (SM).*

Sitio	Tiempo de almacenamiento primario (Días)	Tiempo de almacenamiento secundario (Días)	Promedio puntaje total SCA	Muestras sin defecto (%)
CF	60	0	81,17	100
		30	81,25	100
		60	80,89	100
		90	80,72	67
	120	0	80,17	100
		30	80,27	100
		60	81,75	100
		90	80,17	100
	240	0	80,69	100
		30	80,50	33
	365	0	81,50	33
LT	60	0	80,64	100
		30	81,25	100
		60	81,72	100
		90	80,25	67
	120	0	80,25	100
		30	79,86	100
		60	81,42	100
		90	80,73	100
	240	0	80,44	100
		30	80,19	100
		60	80,23	100
		90	80,15	100
	365	0	81,42	100
NA	60	0	81,56	100
		30	81,11	100
		60	80,25	100

Continúa...

...continuación.

Sitio	Tiempo de almacenamiento primario (Días)	Tiempo de almacenamiento secundario (Días)	Promedio puntaje total SCA	Muestras sin defecto (%)
NA	60	90	81,21	100
	120	0	80,61	100
		30	80,06	33
		60	80,17	33
	240	0	81,50	100
SM	60	0	81,22	100
		30	80,75	67
		60	80,08	33
	120	0	80,83	33

Tabla 4. Correlación entre atributos sensoriales fragancia y sabor con puntaje total de la muestra.

Variable sensorial	Correlación con puntaje
Fragancia (FRA)	0,75
Sabor (SAB)	0,99

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de fragancia y sabor.

Sitio	Tiempo 1 (Días)	Tiempo 2 (Días)	Fragancia			Sabor		
			Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
LT	60	0	7,42	7,33	7,50	7,19	7,08	7,25
		30	7,42	7,33	7,50	7,28	7,25	7,33
		60	7,42	7,25	7,58	7,31	7,17	7,50
		90	7,29	7,25	7,38	6,73	6,00	7,19
	120	0	7,42	7,33	7,50	7,19	7,17	7,25
		30	7,28	7,00	7,50	7,13	7,06	7,17

Continúa...

...continuación.

Sitio	Tiempo 1 (Días)	Tiempo 2 (Días)	Fragancia			Sabor		
			Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
LT	120	60	7,47	7,42	7,50	7,25	7,17	7,33
		90	7,35	7,31	7,44	7,21	7,13	7,25
	240	0	7,42	7,25	7,58	7,17	7,17	7,17
		30	7,35	7,25	7,42	7,05	7,00	7,08
		60	7,31	7,19	7,38	7,15	7,06	7,31
		90	7,29	7,25	7,31	7,06	7,00	7,13
	365	0	7,47	7,33	7,67	7,25	7,08	7,42
		30	6,75	6,56	7,00	6,00	6,00	6,00
		60	6,42	6,00	6,70	6,00	6,00	6,00
		90	6,42	6,00	6,70	6,00	6,00	6,00
SM	60	0	7,47	7,42	7,50	7,22	7,17	7,33
		30	7,44	7,42	7,50	6,81	6,00	7,33
		60	7,17	6,67	7,50	6,39	6,00	7,17
		90	6,65	6,25	7,13	6,00	6,00	6,00
	120	0	7,17	7,08	7,33	6,39	6,00	7,17
		30	6,67	6,25	7,25	6,00	6,00	6,00
		60	6,69	6,42	7,17	6,00	6,00	6,00
		90	6,60	6,25	7,06	6,00	6,00	6,00
	240	0	6,94	6,67	7,33	6,00	6,00	6,00
		30	6,27	6,00	6,56	6,00	6,00	6,00
		60	6,56	6,25	6,88	6,00	6,00	6,00
		90	6,50	6,25	6,75	6,00	6,00	6,00
	365	0	6,14	6,00	6,42	6,00	6,00	6,00
		30	6,07	6,00	6,20	6,00	6,00	6,00
		60	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
		90	6,33	6,00	7,00	6,00	6,00	6,00

Composición química. Los contenidos de lípidos presentaron incrementos entre el tiempo inicial y los 90 días de almacenamiento secundario con valores de 11,22%, 11,17%, 11,70% y 12,25% en los sitios CF, LT, NA y SM, con valores finales de 11,54%, 11,37%, 11,69% y 12,64%, respectivamente. Los lípidos contribuyen a la calidad de la bebida al influir en la viscosidad, la sensación en boca (cremosidad), aspecto y sabor.

El ácido palmítico presentó un valor promedio inicial de 39,62% en CF, de 39,71% en LT, de 39,57% en NA y de 40,07% en SM, presentando ligeras disminuciones en el tiempo de 90 días en el almacenamiento secundario. El ácido graso linoleico presentó el mayor valor promedio en el tiempo cero (0) del sitio CF con un valor de 35,49%, mientras que el valor promedio mínimo se presentó en el tiempo de almacenamiento de 60 días en SM. El menor valor promedio de ácido oleico (9,97%), se observó en el sitio SM a los 90 días. El mayor valor promedio de ácido esteárico (7,11%), se observó en el sitio SM en el tiempo inicial (0). Los valores finales (90 días) del ácido araquídico fueron 2,51% (CF), 2,36% (LT), 2,39% (NA) y 2,34% (SM). Aung Moon et al. (2022), evidencian cambios en las propiedades químicas de la fracción lipídica del grano asociado al almacenamiento, oscilando entre el 8,42% y el 13,82% (b.s). Los ácidos grasos insaturados (AGI), entre los que se encuentran los ácidos linoleico y oleico, hacen parte de los más prevalentes en las muestras evaluadas, 34,31% y 10,68%, respectivamente, y juntos se encuentran en mayor proporción que el ácido graso saturado (AGS), el ácido palmítico (39,30%). Aung Moon et al. (2022), reportan disminuciones de los AG durante el almacenamiento y entre más prolongado dieron mayores reducciones de los ácidos grasos esteárico, oleico y linoleico, con aumento de los ácidos palmítico y araquídico. Estos mayores contenidos de AGS proporcionaron una acidez, fragancia, cuerpo y sabor menos intensos.

La sacarosa presentó valores iniciales promedio de 7,65%, 7,50%, 7,51% y 7,63% en los sitios CF, LT, NA y SM, respectivamente. Las concentraciones de glucosa y fructosa están fuertemente influenciadas por el tipo de procesamiento poscosecha, pero durante el almacenamiento, contenidos relativamente altos de glucosa presentes en el café verde disminuyen notablemente (Selmar et al., 2008). El contenido de cafeína varió entre 1,15% y 1,37%, mientras que la trigonelina entre 0,83% y 0,98%. Por su parte, los ácidos clorogénicos totales (CQA) presentaron valores promedio iniciales de 5,66% en CF, 5,65% en LT, 5,59% en NA y 5,65% en SM. Giulia et al. (2023) evaluaron el almacenamiento prolongado bajo una humedad relativa del 75% en comparación con el 65% en envases ecológicos, los resultados mostraron una estabilidad relativa de las fracciones fenólicas y alcaloides, aunque los isómeros CQA se comportan de forma diferente y se observa una disminución de la cafeína y el ácido cafeico.

A partir del análisis de correlaciones entre las variables químicas y el puntaje total SCA de las muestras se determinaron los compuestos con mayor relación lineal estadística con respecto al puntaje del catador (Tabla 6). Dado que los compuestos más relacionados con el puntaje total del catador son el ácido graso linoleico, la trigonelina y los lípidos, se presentan los estadísticos descriptivos de estos compuestos para cada uno de tiempos de almacenamiento en las dos localidades Letras (LT) y Santa Marta (SM) por ser las más contrastantes en los resultados (Tabla 7).

Tabla 6. Correlación entre compuesto químico y puntaje total SCA de la muestra.

Compuesto	Correlación con puntaje
Ácido graso linoleico (LIN)	0,40
Trigonelina (TRG)	-0,51
Lípidos (LIP)	-0,53

Estimación de la vida útil secundaria

En las muestras provenientes del almacenamiento primario en CF (Cuarto frío) con tiempo inicial de 60 y 120 días de almacenamiento primario y en dos muestreos de almacenamiento secundario (30 y 60 días después de perdido el vacío), no se presentaron defectos sensoriales en la bebida. Un comportamiento contrario se observó en las muestras de 365 días de almacenamiento primario, donde en los tres muestreos secundarios, el 100% de las muestras presentaron defecto reposo. En el sitio LT (Letras), al evaluar las muestras provenientes de los diferentes tiempos de almacenamiento primario 60, 120 y 240 y con almacenamiento secundario a los 30, 60 y 90 días, no se evidenciaron defectos sensoriales. Esto es contrario a lo encontrado en las muestras provenientes del cuarto muestreo de almacenamiento primario (365 días), donde en el tiempo cero del almacenamiento secundario, el 100% de las muestras presentaban defecto sensorial. Borém et al. (2021), reportan estudios donde concluyen que las bolsas herméticas son capaces de conservar la calidad del café verde hasta siete meses de almacenamiento, pero sin diferencia estadística entre los tipos de bolsas (dos o tres capas).

Las muestras almacenadas inicialmente por 60 días en el sitio NA (Chinchiná), durante el almacenamiento secundario hasta los 90 días, no presentaron defectos sensoriales. Por otro lado, las provenientes de 240 y 365 días de almacenamiento inicial, desde el día cero de almacenamiento secundario, el 100% de las muestras tenían defecto sensorial. Por su lado, en el sitio SM (Santa Marta) las muestras provenientes de los tiempos iniciales de almacenamiento de 120, 240 y 365 días, en el tiempo cero, es decir, antes de iniciar el almacenamiento secundario, ya presentaban el defecto reposo. Se observa que el café proveniente de cuarto frío (CF) y Letras (LT) tendría una vida útil total superior en comparación con el proveniente de Santa Marta (SM), debido a las condiciones más favorables para la conservación de las características de calidad en estos dos sitios (Figura 5).

En la Tabla 8, descriptivamente se observa que de forma general el puntaje obtenido después del almacenamiento secundario tiende a ser menor a medida que el tiempo de almacenamiento es mayor. Este tipo de tendencia es más evidente en la localidad Santa Marta (SM) donde las muestras que estuvieron almacenadas inicialmente por 60 días fueron valoradas con 81,2 puntos en promedio y al pasar a un segundo período de almacenamiento el puntaje fue bajando hasta obtener 53,6 puntos en promedio, cuando el segundo tiempo de almacenamiento fue de 90 días.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de compuestos químicos.

Sitio	Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Ácido graso linoleico			Trigonelina			Lípidos		
			Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)
LT	60	0	35,19	35,71	34,26	0,78	0,74	0,83	11,19	10,93	11,51
		30	34,77	35,25	34,01	0,84	0,83	0,86	10,58	10,06	10,88
		60	35,08	35,79	34,24	0,88	0,83	0,93	11,41	11,07	11,85
		90	35,86	36,44	35,39	0,84	0,80	0,88	11,29	11,15	11,55
	120	0	34,63	34,92	34,12	0,87	0,83	0,90	11,34	11,04	11,64
		30	35,95	36,30	35,66	0,84	0,83	0,86	11,09	10,67	11,30
		60	36,65	37,86	35,74	0,84	0,80	0,87	11,06	10,65	11,52
		90	36,77	37,35	36,26	0,88	0,84	0,90	11,28	10,92	11,66
	240	0	37,49	37,95	37,23	0,81	0,78	0,85	11,00	10,57	11,42
		30	33,61	33,69	33,56	0,88	0,85	0,94	11,30	10,94	11,91
		60	33,19	33,86	32,75	0,85	0,82	0,88	11,37	11,26	11,56
		90	32,53	33,05	31,50	0,86	0,82	0,91	11,38	11,01	11,85
	365	0	34,37	34,57	34,05	0,85	0,83	0,89	11,17	11,13	11,25
		30	33,88	34,05	33,70	0,87	0,85	0,90	11,37	11,07	11,54
		60	33,40	34,05	32,83	0,88	0,86	0,91	11,57	11,02	11,86
		90	36,64	37,01	36,26	0,82	0,79	0,87	11,53	11,21	11,72

Continúa...

...continuación.

Sitio	Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Ácido graso linoleico			Trigonelina			Lípidos		
			Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Prom. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)
SM	60	0	36,16	37,58	34,98	0,80	0,78	0,83	11,12	10,82	11,26
		30	33,70	34,09	33,37	0,90	0,88	0,91	11,73	11,12	12,14
		60	33,97	34,95	32,51	0,91	0,88	0,94	11,63	11,58	11,73
		90	35,37	35,69	34,76	0,88	0,87	0,88	11,30	10,96	11,86
	120	0	34,49	34,95	33,69	0,95	0,94	0,96	11,51	10,99	11,78
		30	34,56	34,75	34,33	0,94	0,92	0,97	11,67	11,44	11,92
		60	35,15	35,55	34,39	0,96	0,94	0,99	11,92	11,49	12,40
		90	36,08	37,01	35,48	0,93	0,87	0,96	11,76	11,33	12,30
	240	0	35,62	36,99	34,59	0,99	0,91	1,03	12,53	12,20	13,14
		30	31,17	31,27	30,99	1,00	0,98	1,04	13,38	13,05	13,67
		60	29,96	30,54	28,95	1,03	1,00	1,06	13,45	12,82	13,86
		90	30,63	32,55	28,59	0,98	0,93	1,02	13,18	12,97	13,33
	365	0	31,22	31,89	30,26	1,05	1,04	1,07	13,83	13,35	14,07
		30	30,81	31,16	30,14	1,08	1,06	1,09	14,10	13,87	14,34
		60	30,39	30,72	30,02	1,10	1,08	1,12	14,37	14,10	14,61
		90	33,98	34,25	33,48	1,11	1,10	1,13	14,32	13,78	14,70

Tabla 8. Puntaje total SCA al final del almacenamiento secundario.

Almacenamiento primario (Días)	Almacenamiento secundario (Días)	Tiempo total de almacenamiento (Días)	Letras (LT)	Cuarto frío (CF)	Santa Marta (SM)
			Puntaje promedio	Puntaje promedio	Puntaje promedio
60	0	60	80,6	81,2	81,2
	30	90	81,3	81,3	72,0
	60	120	81,7	80,9	62,3
	90	150	71,6	71,6	53,6
120	0	120	80,3	80,2	62,8
	30	150	79,9	80,3	53,7
	60	180	81,4	81,8	53,7
	90	210	80,7	80,2	53,6
240	0	240	80,4	80,7	53,9
	30	270	80,2	62,8	53,3
	60	300	80,2	53,8	53,6
	90	330	80,1	53,6	53,5
365	0	365	81,4	63,5	53,1
	30	395	53,8	54,1	53,1
	60	425	53,5	53,4	53,0
	90	455	53,5	53,4	53,3

De forma general, se observó el comportamiento de la calidad de la muestra a través del tiempo, a partir del puntaje total SCA. El café que fue almacenado inicialmente por 60 días, puede permanecer hasta 60 días en almacenamiento secundario y alcanzar un puntaje SCA promedio mayor a 80 puntos, excepto en Santa Marta, donde se observa el deterioro inmediato de la calidad tras un mes de almacenamiento secundario (90 días totales), alcanzando un puntaje inferior a 75 puntos. En las localidades Letras, cuarto frío y Naranjal se observa que todas las muestras almacenadas inicialmente hasta 240 días obtuvieron puntajes superiores a 80 puntos SCA, en promedio. En la Figura 5 se muestra que los puntajes SCA promedio por encima de 70 puntos en todas las localidades, excepto Santa Marta, pueden obtenerse en un tiempo total de almacenamiento máximo alrededor de 240 días. La localidad Santa Marta presenta resultados contrastantes con respecto a los demás sitios de almacenamiento.

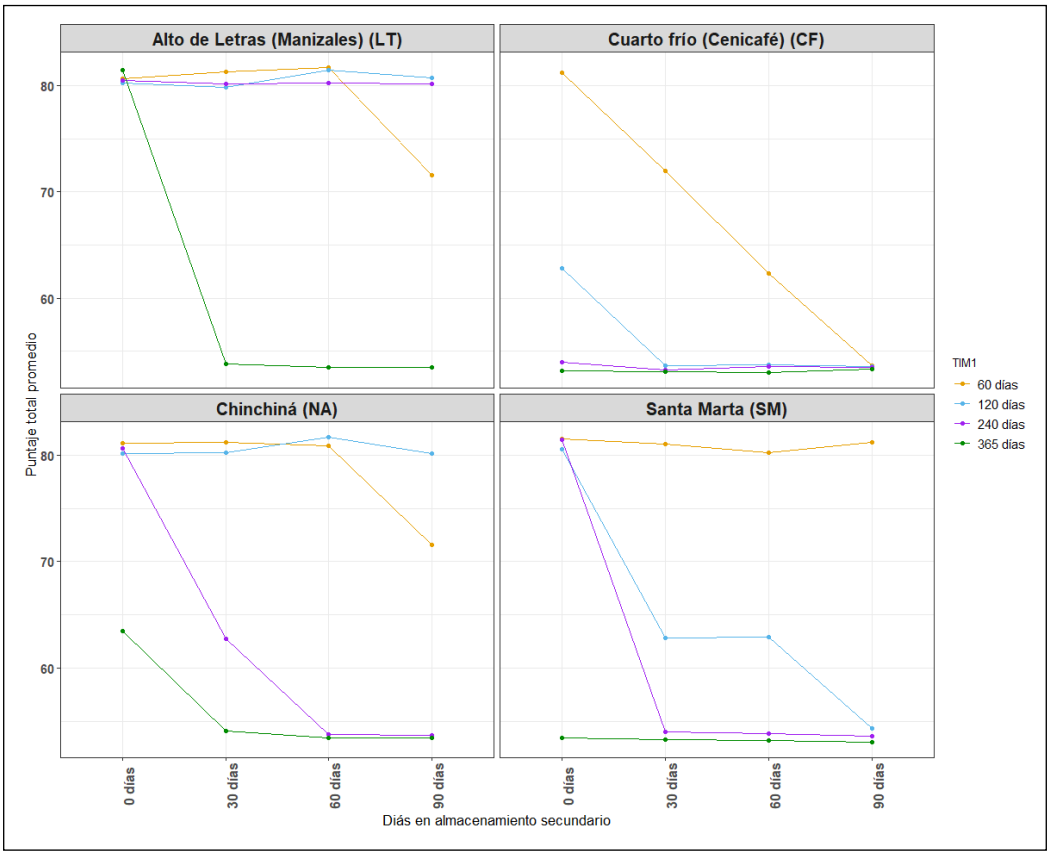

Figura 5. Puntaje total SCA promedio obtenido por las muestras en cada una de las localidades durante el almacenamiento secundario.

Puede concluirse que:

El empaque al vacío se configura como una opción de alta barrera para proteger el café verde de las variaciones de la humedad relativa, evitando incrementos en el contenido de humedad del grano, dada su naturaleza higroscópica, que favorece el intercambio de vapor de agua con el ambiente circundante. Aunque se observó un incremento del contenido de humedad desde el 11,90% hasta valores del 12,50% y de actividad de agua de 0,6146 hasta 0,6709 en los sitios de almacenamiento con mayores temperaturas (T) y humedad relativa (HR), es evidente el efecto del empaque de alta barrera al vapor de agua desempeña un papel definitivo en la conservación de la humedad, aun en condiciones de alta humedad relativa del ambiente como es Santa Marta (81%).

Las condiciones de almacenamiento definen las respuestas físico-químicas del grano; es así como el almacenamiento primario, bajo condiciones ambientales de SM, generó mayores cambios en los valores de las coordenadas de color L* y b*, que pueden relacionarse con el blanqueamiento y amarilleamiento de los granos. El valor máximo promedio de L*

fue de 83,93 y se encontró en Santa Marta a los 365 días de almacenamiento; mayores temperaturas de almacenamiento favorecen mayores diferencias entre los valores iniciales y finales de L* (blanco). La alta temperatura también puede ser la respuesta a la aparición más temprana de defectos sensoriales como el reposo. El sitio SM tiene mayor temperatura promedio (28,0 °C) en comparación con la temperatura promedio del sitio LT (10,3 °C). En el sitio SM, a partir de los 120 días, se observó el incremento del porcentaje de muestras con defectos sensoriales con 66,66% y a partir de los 240 el 100%; caso contrario a lo encontrado para el sitio de almacenamiento LT (Letras), donde la calidad sensorial se conservó sin presentar defectos sensoriales, durante los 365 días de almacenamiento primario.

Las variaciones en la aparición de defectos sensoriales de las muestras de café verde en el almacenamiento secundario dependen de los cambios sufridos en el grano por las condiciones iniciales de almacenamiento primario, es decir, un café empacado al vacío no está aislado de las fluctuaciones de la temperatura, lo que indica que mayores temperaturas en el almacenamiento primario tendrán efecto en el inicio de las reacciones químicas que conllevan a la pérdida de compuestos precursores de aroma y sabor característicos del café y a la generación de aquellos relacionados con el deterioro del grano, como el sabor a madera y tierra; defectos desarrollados durante el almacenamiento. Al finalizar el almacenamiento primario (tiempo cero del secundario) el 72,91% de las muestras no presentaron defectos sensoriales, pero este porcentaje fue disminuyendo en los tres tiempos de muestreo posteriores (30, 60 y 90 días) a valores de 45,83%, 41,66% y 33,33%, respectivamente. En el sitio SM la totalidad de las muestras presentaron defectos sensoriales desde los 60 días de almacenamiento primario, independientemente del tiempo de almacenamiento secundario.

Se utilizó el análisis de riesgo y la distribución de probabilidad de Weibull y la evaluación sensorial de las características sensoriales del café para evaluar la pérdida de calidad durante el almacenamiento y predecir la vida útil del café. Por medio de este análisis se estimó una SL, para para el café empacado al vacío y almacenado en condiciones de T=20°C y HR=80% (SM), de 248 días. Un mayor tiempo de SSL en los sitios LT y CF está asociado a condiciones más favorables para la conservación de las características de calidad en estos, por tener menores temperaturas de almacenamiento.

AGRADECIMIENTOS

A Fernando Osorio Rodríguez de Almacafé, Paola Calderón, Wilson Vargas y Víctor Castañeda de la Disciplina de Calidad y a Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y John Félix Trejos del equipo de la Disciplina de Experimentación. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), código CAL103004.

Contribuciones de los Autores: Conceptualización, metodología, curación de datos, redacción-borrador original, análisis: V.O.P.; Análisis y metodología: C.P.G. y B.E.M.; Redacción- revisión y edición: V.O.P, J.P.U., C.P.G., B.E.M y C.R.G. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

Abreu, G., Rosa, S., Cirillo, M. A., Malta, M. R., Clemente, A., & Borém, F. M. (2017). Simultaneous optimization of coffee quality variables during storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *21*(1), 56–60. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p56-60

Abreu, G. F., Borém, F. M., Oliveira, L. F. C., Almeida, M. R., & Alves, A. P. C. (2019). Raman spectroscopy: A new strategy for monitoring the quality of green coffee beans during storage. *Food Chemistry*, *287*, 241–248. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.019

Abreu, G. F., Rosa, S. D. V. F., Coelho, S. V. B., Pereira, C. C., Malta, M. R., Fantazzini, T. B., & Vilela, A. L. (2023). Influence Of Hulling And Storage Conditions On Maintaining Coffee Quality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *95*(4), e20190612. https://doi.org/10.1590/0001-3765202320190612

Anokye-Bempah, L., Han, J., Kornbluth, K., Ristenpart, W., & Donis-González, I. R. (2023). The use of desiccants for proper moisture preservation in green coffee during storage and transportation. *Journal of Agriculture and Food Research*, *11*, 100478. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100478

Aung Moon, S., Wongsakul, S., Kitazawa, H., & Saengrayap, R. (2022). Lipid Oxidation Changes of Arabica Green Coffee Beans during Accelerated Storage with Different Packaging Types. *Foods*, *11*(19), 3040. https://doi.org/10.3390/foods11193040

Borém, F. M., Abreu, G. F. D., Alves, A. P. D. C., Santos, C. M. D., & Teixeira, D. E. (2021). Volatile compounds indicating latent damage to sensory attributes in coffee stored in permeable and hermetic packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *29*, 100705. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100705

Borém, F. M., Matias, G. C., Alves, A. P. C., Haeberlin, L., Santos, C. M. D., & Rosa, S. D. V. F. D. (2023). Effect of storage conditions on the chemical and sensory quality of pulped natural coffee. *Journal of Stored Products Research*, *104*, 102183. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102183

Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Fortunato, V. A., & Isquierdo, E. P. (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, *52*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004

Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Siqueira, V. C., & Dias, C. A. (2019). Sensory analysis and fatty acid profile of specialty coffees stored in different packages. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(9), 4101–4109. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03879-3

Cardelli, C., & Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT–Food Science and Technology*, *34*(5), 273–278. https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732

Coradi, P. C., Borém, F.M., Saath, R., & Marques, E. R. (2007). Effect of Drying and Storage Conditions on the Quality of washed coffee. *Coffee Science*, *2*(1), 38–47. https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/37

Demianova, A., Bobkova, A., Polakova, K., Jurcaga, L., Bobko, M., Lidikova, J., Mesarosova, A., Belej, Ľ., & Bucko, O. (2023). Moisture content and its possible effect on textural properties and color of green coffea arabica. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, *12*(5), e9491. https://doi.org/10.55251/jmbfs.9491

Donovan, N. K., Foster, K. A., & Parra Salinas, C. A. (2019). Analysis of green coffee quality using hermetic bag storage. *Journal of Stored Products Research*, *80*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.003

Fu, B., & Labuza, T. P. (1997). Shelf-Life Testing: Procedures and Prediction Methods. En M. C. Erickson & Y.-C. Hung (Eds.), *Quality in Frozen Foods* (pp. 377–415). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5975-7_19

Giulia, S., Eloisa, B., Giulia, R., Gloria, P., Carlo, B., & Erica, L. (2023). Evaluation of the behaviour of phenols and alkaloids in samples of roasted and ground coffee stored in different types of packaging: Implications for quality and shelf life. *Food Research International*, *174*, 113548. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113548

Gómez, C. R., Gallego, C. P., Echeverri, L. F., Pabón, J., Ortiz, A., & Osorio, V. (2023). Determinación de compuestos químicos del café tostado por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS). *Revista Cenicafé*, *74*(1), e74104. https://doi.org/10.38141/10778/74104

Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by

fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, *64*, 166–170. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017

International Organization for Standardization. (2003). ISO 6673:2003—*Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. https://www.iso.org/standard/38375.html

Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. (2020). The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *European Food Research and Technology*, *246*(1), 33–39. https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9

Maman, M., Sangchote, S., Piasai, O., Leesutthiphonchai, W., Sukorini, H., & Khewkhom, N. (2021). Storage fungi and ochratoxin A associated with arabica coffee bean in postharvest processes in Northern Thailand. *Food Control*, *130*, 108351. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108351

Orfanou, F., Dermesonlouoglou, E. K., & Taoukis, P. S. (2019). Greek Coffee Quality Loss During Home Storage: Modeling the Effect of Temperature and Water Activity. *Journal of Food Science*, *84*(10), 2983–2994. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14756

Palacios-Cabrera, H. A., Menezes, H. C., Iamanaka, B. T., Canepa, F., Teixeira, A. A., Carvalhaes, N., Santi, D., Leme, P. T. Z., Yotsuyanagi, K., & Taniwaki, M. H. (2007). Effect of Temperature and Relative Humidity during Transportation on Green Coffee Bean Moisture Content and Ochratoxin A Production. *Journal of Food Protection*, *70*(1), 164–171. https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.1.164

Palareti, G., Legnani, C., Cosmi, B., Antonucci, E., Erba, N., Poli, D., Testa, S., & Tosetto, A. (2016). Impact of storage conditions on fungal community composition of green coffee beans *Coffea arabica* L. stored in jute sacks during one year. *International Journal of Laboratory Hematology*, *38*(1), 42–49. https://doi.org/10.1111/ijlh.12426

Rendón, M. Y., De Jesus Garcia Salva, T., & Bragagnolo, N. (2014). Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chemistry*, *147*, 279–286. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.123

Ribeiro, F. C., Borém, F. M., Giomo, G. S., De Lima, R. R., Malta, M. R., & Figueiredo, L. P. (2011). Storage of green coffee in hermetic packaging injected with CO2. *Journal of Stored Products Research*, *47*(4), 341–348. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.05.007

Specialty Coffee Association. (2003). *Cupping Protocols*. Protocols & Best Practices. https://sca.coffee/research/protocols-best-practices

Selmar, D., Bytof, G., & Knopp, S.-E. (2008). The Storage of Green Coffee (*Coffea arabica*): Decrease of Viability and Changes of Potential Aroma Precursors. *Annals of Botany*, *101*(1), 31–38. https://doi.org/10.1093/aob/mcm277

Toci, A. T., Neto, V. J. M. F., Torres, A. G., & Farah, A. (2013). Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. *LWT–Food Science and Technology*, *50*(2), 581–590. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.007

Tripetch, P., & Borompichaichartkul, C. (2019). Effect of packaging materials and storage time on changes of colour, phenolic content, chlorogenic acid and antioxidant activity in arabica green coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor). *Journal of Stored Products Research*, *84*, 101510. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101510

Zarebska, M., Stanek, N., Barabosz, K., Jaszkiewicz, A., Kulesza, R., Matejuk, R., Andrzejewski, D., Biłos, Ł., & Porada, A. (2022). Comparison of chemical compounds and their influence on the taste of coffee depending on green beans storage conditions. *Scientific Reports*, *12*(1), 2674. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06676-9

EVALUACIÓN DEL GERMOPLASMA ETÍOPE COMO RECURSO PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE *Coffea arabica* L.

Juan Carlos Arias Suárez *, Rubén Darío Medina Rivera **

Arias, J. C., & Medina-Rivera, R. (2025). Evaluación del germoplasma etíope como recurso para el mejoramiento genético de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé, 76*(1), e76103. https://doi.org/10.38141/10778/76103

Ante el impacto económico de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br) para el cultivo de *Coffea arabica* L., la resistencia genética ha sido uno de los propósitos de los programas de mejoramiento. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de diversas fuentes de resistencia, en cruzamiento con germoplasma etíope, para la obtención de genotipos con atributos agronómicos deseables. Se evaluaron 44 progenies F4 y F5, por un ciclo de cultivo, en dos lotes experimentales, en un diseño de bloques completos al azar, registrando variables relacionadas al crecimiento, producción, características de grano y resistencia a la roya. La información obtenida en el ANOVA fue utilizada para calcular los parámetros Coeficiente de Variación Experimental (CVe), Coeficiente de Variación Genética (CVg) y Heredabilidad (h_a^2). Los CVe y CVg fueron menores al 8,0% para las variables relacionadas al crecimiento, superando este umbral para las demás variables. La h_a^2 fue superior al 78,5% en todos los casos. Estos valores indican una fuerte fijación de las características agronómicas, permitiendo mejoras en los atributos del grano y rendimiento a través de selección, mientras se conserva un crecimiento compacto. En cuanto a la resistencia a la roya, aunque todas las progenies son resistentes, el 25,0% presenta los valores más bajos de incidencia, lo que indica un alto potencial de selección. El 9,0% de las progenies cumplen con los criterios de selección establecidos por el programa y pueden ser potencialmente evaluadas en pruebas de adaptación regional, para su utilización futura en la caficultura colombiana.

Palabras clave: Recursos genéticos, fitomejoramiento, diversidad genética, fuentes de resistencia a la roya, variedades de café, Colombia, café, Cenicafé.

EVALUATION OF ETHIOPIAN GERMPLASM AS A RESOURCE FOR THE GENETIC IMPROVEMENT OF *Coffea arabica* L.

Given the economic impact of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br) on the cultivation of *Coffea arabica* L., genetic resistance has been one of the basic objectives of breeding programs. The aim of this study was to evaluate the potential of various sources of resistance, in crossing with germplasm of Ethiopian origin, to obtain genotypes with desirable agronomic attributes. For this purpose, 44 progenies F4 and F5 were evaluated over one crop cycle in two experimental plots, using a randomized complete block design, recording variables related to growth, yield, bean characteristics, and resistance to coffee leaf rust. The data obtained from the ANOVA was used to calculate the Experimental Coefficient of Variation (CVe), Genetic Coefficient of Variation (CVg) and heritability (h_a^2) parameters. The CVe and CVg were less than 8% for growth-related variables, but exceeded this threshold for other variables. Meanwhile, h_a^2 was greater than 78.5% in all cases. These values indicate a strong fixation of agronomic traits, enabling improvements in bean characteristics and yield through selection while maintaining compact growth. In terms of rust resistance, although all progenies are resistant, 25% exhibit the lowest incidence values, indicating a high selection potential. The set of results identified that 9% of the progenies meet the selection criteria established by the program and can potentially be evaluated in regional adaptation trials, with a view to their future use in Colombian coffee growing.

Keywords: Genetic resources, plant breeding, genetic diversity, sources of resistance to coffee leaf rust, coffee varieties.

* Investigador Científico I. Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. https://orcid.org/0000-0002-5004-2423

** Investigador Científico II. Disciplina de Biometría, Cenicafé. https://orcid.org/0000-0002-9753-9613

Con un consumo estimado de 400 billones de tazas por año, sustento de más de 60 millones de personas en docenas de países (Sachs et al., 2019), posicionan al café como uno de los cultivos de mayor importancia económica a nivel mundial. La producción está soportada en dos especies, *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex A. F., siendo la primera la de mayor importancia económica y de alto reconocimiento por la calidad de su bebida. Desde el punto de vista biológico, esta especie destaca además por su adaptación a un amplio rango de ambientes, principalmente en la zona intertropical, entre los 20°N y 24°S, en rangos altitudinales entre los 700 a 2.000 m (Jaramillo, 2018). A su vez, sobresale por la diversidad de sistemas productivos donde es utilizada, desde pequeños agroforestales hasta monocultivos mecanizados a gran escala (McCook & Montero-Mora, 2024).

Estos aspectos contrastan con la baja diversidad genética de las variedades de *C. arabica* cultivadas, originada a partir de unas pocas semillas (Scalabrin et al., 2020), haciéndolas particularmente vulnerables a plagas y enfermedades. Dentro de éstas, la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) es la de mayor impacto económico, causando pérdidas en la producción superiores al 30% en ausencia de medidas de control (Rivillas et al., 2005). Desde antes de la llegada de la enfermedad a América, programas de mejoramiento genético de los países productores de la región, con el apoyo del CIFC (Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro -Portugal), iniciaron la obtención de variedades con resistencia genética, método económica y ambientalmente de mayor viabilidad. El Híbrido de Timor, híbrido natural entre *C. arabica* x *C. canephora,* fue la fuente por excelencia para este propósito, dando origen a un sinnúmero de variedades a nivel mundial, algunas de estas siendo utilizadas recientemente en la producción de híbridos F1 (Bertrand et al., 2011). Sin embargo, muchas de las variedades obtenidas a partir de esta fuente son actualmente consideradas susceptibles (Cortina et al., 2012), posible consecuencia de la alta flexibilidad que tiene el patógeno para generar nuevas variantes en comparación a la rigidez del cultivo. En Colombia, se utilizó esta misma fuente para la obtención de las diferentes variedades, implementando la diversidad genética como estrategia para extender la durabilidad de la resistencia (Castillo & Moreno, 1988; Moreno, 2004), y estudios posteriores han demostrado su efectividad en presencia de razas compatibles (Alvarado & Moreno, 2005; Arias, 2019).

En especies perennes como el café, la obtención de variedades requiere una alta inversión en área, recursos y tiempo, los cuales, en el caso de la resistencia a la roya contrasta con la rapidez con que la enfermedad es capaz de vencerla. Ante este panorama, es necesario recurrir a diferentes fuentes, conservadas y evaluadas en los bancos de germoplasma, que permitan alcanzar los objetivos propuestos (Arias, 2023), ampliando además la diversidad genética de las variedades cultivadas. Dentro de este, recurrir al acervo genético secundario representado por las especies diploides ha sido una constante, y frecuentemente resaltado (Bertrand et al., 2023), principalmente por sus atributos intrínsecos, producto de los ambientes en los cuales evolucionaron. No obstante, su uso significa resolver problemas como las diferencias en ploidía con *C. arabica* (tetraploide vs diploide), genes deletéreos, además de un mayor tiempo de selección. En contraste, el acervo genético primario ha sido pobremente aprovechado, con la concepción de la estrecha base genética que dio origen a la especie (Scalabrin et al., 2020). Sin embargo, las evaluaciones realizadas sobre el germoplasma silvestre procedente de Etiopía, centro de origen y diversidad de la especie, denotan su potencial para diversos atributos

(Arias et al., 2025; Arias & Flórez, 2023; Molina & Medina, 2022; Romero y Cortina, 2004). El uso de este germoplasma ha sido particularmente propuesto para la producción de híbridos F1 (Bertrand et al., 2011; Georget et al., 2019) y selección (Benti et al., 2021), siendo pocos los casos donde son incluidos para mejoramiento a través de hibridación (Gichuru et al., 2021; Molina et al., 2022).

Es de tener en cuenta que, fuera de Etiopía, el acceso a germoplasma silvestre está restringido al existente en los bancos de germoplasma, que en el caso de Colombia es conservado en la Colección Colombiana de Café (Arias, 2023). Desde el ingreso de germoplasma silvestre a la CCC, este ha sido sometido a diversas caracterizaciones, que incluyen comportamiento agronómico (Castillo, 1977), características de grano (Castillo, 1978), resistencia a roya (Castillo et al., 1976), resistencia a plagas (Romero & Cortina, 2004), factores abióticos (Acuña & Sadeghian, 2020; Molina & Medina, 2022) y calidad sensorial (Arias et al., 2025), entre otros. Estos han sido valiosos aportes en el conocimiento del potencial del germoplasma conservado, y han definido su utilización en el mejoramiento genético (Castillo et al., 1976; Castillo & Moreno, 1988; Molina et al., 2022).

A pesar del gran número de variedades de *C. arabica* existentes, son escasas las que incluyen el germoplasma de procedencia etíope bajo el esquema de hibridación. Este hecho puede ser debido a la necesidad de largos períodos de evaluación y selección, que al final pueden ser compensados por la facilidad de distribución través de semilla. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el potencial del germoplasma de procedencia etíope seleccionado en cruzamiento con otras fuentes de origen diverso en la obtención de variedades, a través del comportamiento agronómico y de resistencia a roya de 44 progenies de generaciones avanzadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Los lotes experimentales se establecieron en un área 0,5 ha en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Chinchiná, Caldas), con ubicación 04°58’ N y 75°39’ O, a 1.381 m de altitud, con un promedio de precipitación anual de 2.556 mm, 1.816 horas de brillo solar al año, humedad relativa de 78% y temperatura media de 20,8°C. La evaluación de las progenies se realizó entre los años 2018 y 2024, comprendiendo un ciclo productivo del cultivo.

Progenies. Se sembraron 44 progenies, 31 F4 y 13 F5, las cuales fueron producto del cruzamiento entre progenitores de diversos orígenes. El 70% de estas utilizan como progenitor recurrente progenies F3RC1 producto de la hibridación interespecífica (HIE) entre *C. arabica* x *C. canephora* seleccionadas (Alvarado & Cortina, 1997), el 22% emplea derivados de Caturra x Híbrido de Timor 1343 (CatxHdT), y en la fracción restante intervienen progenies F3 derivadas de Sudán Rumé x Catuaí. Como progenitor recurrente se emplearon en 36 de las progenies 15 accesiones de origen etíope, mientras en los restantes se utilizaron progenies que involucran la variedad N.197 (Tabla 1).

Los progenitores que intervienen en los diferentes cruzamientos fueron seleccionados principalmente por resistencia a la roya del cafeto (*H. vastatrix*). En todas las generaciones se ejerció presión de selección por este aspecto, además de otras características agronómicas de interés, como producción, altura de planta, calidad sensorial, tamaño de grano, resistencia a roya, entre otros aspectos que se ilustran en la Tabla 2 (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2016).

Tabla 1. Genealogía de las 44 progenies F4 y F5 evaluadas en dos lotes experimentales.

Lote	Trat.	Cruzamiento	F2	F3	F4
1	1	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.1072	MEG2.32(2006-2) #5858	MEG2.32(2009-14) #1419	
	2	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.50	MEG2.32(2006-2) #6245	MEG2.32(2009-14) #889	
	3		MEG2.32(2006-2) #6310	MEG2.32(2009-14) #72	
	4			MEG2.32(2009-14) #78	
	5	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.173	MEG2.32(2006-2) #2997	MEG2.32(2009-14) #1282	
	6		MEG2.32(2006-2) #2947	MEG2.32(2009-14) #1465	
	7		MEG2.32(2006-2) #2985	MEG2.32(2009-14) #1200	
	8			MEG2.32(2009-14) #1199	
	9	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.175	MEG2.32(2006-2) #4516	MEG2.32(2009-14) #942	
	10			MEG2.32(2009-14) #598	
	11	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.1055	MEG2.32(2006-2) #2123	MEG2.32(2009-14) #399	
	12		MEG2.32(2006-2) #3130	MEG2.32(2009-14) #1013	
	13			MEG2.32(2009-14) #487	

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Cruzamiento	F2	F3	F4
1	14	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.250	MEG2.32(2006-2) #5782	MEG2.32(2009-14) #1057	
	15			MEG2.32(2009-14) #62	
	16	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.304	MEG2.32(2006-2) #5614	MEG2.32(2009-14) #503	
	17	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.338	MEG2.32(2006-2) #5685	MEG2.32(2009-14) #951	
	18	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]	MEG2.32(2006-2) #4444	MEG2.32(2009-14) #403	
	19	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.50	MEG2.32(2006-2) #6454	MEG2.32(2009-14) #620	
	20	{[(Caturra x HDT) x (Caturra x HDT)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]} x CCC.175	MEG2.32(2006-2) #4250	MEG2.32(2009-14) #1308	
	21	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.249	MEG2.32(2006-2) #636w9	MEG2.32(2009-14) #1070	
	22		MEG2.32(2006-2) #6328	MEG2.32(2009-14) #1331	

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Cruzamiento	F2	F3	F4
2	1	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]	MEG2.32(2006-2) #4426	MEG2.32(2009-13) #333	FIT102009(Vitrina) #427
	2		MEG2.32(2006-2) #4478	MEG2.32(2009-13) #958	FIT102009(Vitrina) #493
	3		MEG2.32(2006-2) #4394	MEG2.32(2009-13) #53	FIT102009(Vitrina) #480
	4		MEG2.32(2006-2) #4405	MEG2.32(2009-13) #195	FIT102009(Vitrina) #460
	5	{(Caturra x HDT) x [(Caturra x Ennarea) x HDT]} x CCC.291	MEG2.32(2006-2) #216	MEG2.32(2009-13) #85	FIT102009(Vitrina) #218
	6	[(Caturra x HDT) x (Caturra x HDT)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]	MEG2.32(2006-2) #5365	MEG2.32(2009-13) #66	FIT102009(Vitrina) #116
	7	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.173	MEG2.32(2006-2) #2979	MEG2.32(2009-13) #242	FIT102009(Vitrina) #364
	8		MEG2.32(2006-2) #2975	MEG2.32(2009-14) #1563	
	9	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.1055	MEG2.32(2006-2) #3139	MEG2.32(2009-13) #604	FIT102009(Vitrina) #612
	10	{(Caturra x HDT) x [Caturra x (Caturra x HDT)]} x CCC.50	MEG2.32(2006-2) #14	MEG2.32(2009-13) #572	FIT102009(Vitrina) #341
	11				FIT102009(Vitrina) #728

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Cruzamiento	F2	F3	F4
2	12	[(Caturra x HDT) x (Caturra x HDT)] x CCC.1162	MEG2.32(2006-2) #567	MEG2.32(2009-13) #155	FIT102009(Vitrina) #621
	13		MEG2.32(2006-2) #569	MEG2.32(2009-13) #585	FIT102009(Vitrina) #633
	14				FIT102009(Vitrina) #635
	15	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]	MEG2.32(2007-7) #731	MEG2.32(2010-5) #34	
	16	[(Caturra x HDT) x (Caturra x HDT)] x CCC.1049	MEG2.32(2007-7) #73	MEG2.32(2010-5) #67	
	17	(Caturra x HDT) x CCC.1166	MEG2.32(2007-7) #523	MEG2.32(2010-5) #197	
	18	(Sudan Rume x Catuaí) x CCC.249	MEG2.32(2007-7) #563	MEG2.32(2010-5) #461	
	19		MEG2.32(2007-7) #545	MEG2.32(2010-5) #205	
	20			MEG2.32(2010-5) #528	
	21	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x [Catuaí x (Caturra x N.197)]	MEG2.32(2007-7) #760	MEG2.32(2010-5) #384	
	22	[Caturra x (Caturra x *C. canephora*)] x CCC.1060	MEG2.32(2007-7) #668	MEG2.32(2010-5) #633	

Fuente: Evaluación de poblaciones con resistencia a la roya, derivadas del Híbrido de Timor (MEG102004). Informe anual. Cenicafé 2016.

Tabla 2. Evaluación de poblaciones con resistencia a la roya, derivadas del Híbrido de Timor (MEG102004).

Lote	Progenitor	Progenie	Producción (kg/planta)	Altura a 24 meses (cm)	Calidad sensorial (SCAA)	Tamaño de grano (% supremo)	% Plantas <3 (Eskes)	Color de fruto	Color de hojas jóvenes
	MEG2.32(2006-2) #5858	1	10,3	145,0	83,3	74,9	90,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #6245	2	9,2	135,1	81,0	64,7	85,0	Rojo, segrega	Verde
	MEG2.32(2006-2) #6310	3, 4	9,3	144,7	83,0	74,1	94,7	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #2997	5	9,1	147,1	83,5	68,1	100,0	Rojo	Bronce
	MEG2.32(2006-2) #2947	6	7,3	147,3	83,5	79,0	100,0	Rojo, segrega	Verde
	MEG2.32(2006-2) #2985	7, 8	8,1	147,4	83,0	82,1	90,0	Rojo, segrega	Verde
	MEG2.32(2006-2) #4516	9, 10	9,8	139,0	81,0	78,9	95,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #2123	11	7,8	145,3	83,8	68,3	100,0	Rojo	Verde
1	MEG2.32(2006-2) #3130	12, 13	7,2	133,3	82,5	59,1	75,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #5782	14, 15	6,4	139,4	83,3	71,8	75,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #5614	16	6,8	138,7	-	83,2	100,0	Rojo, segrega	Verde
	MEG2.32(2006-2) #5685	17	5,7	123,0	-	80,3	100,0	Rojo, segrega	Verde
	MEG2.32(2006-2) #4444	18	8,9	144,6	-	82,6	85,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #6454	19	7,5	143,8	83,0	79,1	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #4250	20	9,4	143,0	83,0	55,8	77,8	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #6369	21	7,3	139,6	82,5	72,5	85,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2006-2) #6328	22	7,1	142,3	80,5	63,2	70,0	Rojo, segrega	Verde

Continúa...

...continuación.

Lote	Progenitor	Progenie	Producción (kg/planta)	Altura a 24 meses (cm)	Calidad sensorial (SCAA)	Tamaño de grano (% supremo)	% Plantas <3 (Eskes)	Color de fruto	Color de hojas jóvenes
	MEG2.32(2009-13) #333	1	8,8	151,0	85,5	62,9	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2009-13) #958	2	9,6	166,0	86,6	48,7	100,0	Rojo, segrega	Bronce
	MEG2.32(2009-13) #53	3	11,8	173,0	84,3	68,7	100,0	Rojo	Bronce, segrega
	MEG2.32(2009-13) #195	4	11,0	167,0	-	-	100,0	Rojo, segrega	Bronce
	MEG2.32(2009-13) #85	5	10,5	146,0	-	77,2	100,0	Rojo	Bronce, segrega
	MEG2.32(2009-13) #66	6	14,1	156,0	83,4	56,3	100,0	Rojo	Bronce, segrega
	MEG2.32(2009-13) #242	7	9,8	145,0	-	-	100,0	Rojo, segrega	Bronce, segrega
	MEG2.32(2006-2) #2975	8	7,0	148,9	83,3	81,3	95,0	Rojo	Verde
2	MEG2.32(2009-13) #604	9	9,3	150,0	-	-	100,0	Rojo	Bronce
	MEG2.32(2009-13) #572	10, 11	7,7	148,0	-	-	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2009-13) #155	12	6,8	148,0	-	-	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2009-13) #585	13, 14	7,4	163,0	-	-	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #731	15	14,1	158,5	80,5	35,3	94,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #73	16	15,2	159,5	83,6	72,1	85,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #523	17	13,4	123,9	82,5	22,7	89,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #563	18	12,7	146,8	81,6	47,4	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #545	19, 20	11,0	139,3	80,6	37,2	90,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #760	21	12,4	155,0	81,0	46,5	100,0	Rojo	Verde
	MEG2.32(2007-7) #668	22	11,0	156,8	81,3	49,4	94,0	Rojo	Verde

Fuente: Informe anual. Cenicafé 2016.

Diseño experimental. Las progenies se establecieron bajo el modelo de bloques completos al azar con seis bloques, donde la parcela experimental fue un surco con diez plantas, de las cuales ocho fueron efectivas, y la unidad de observación fue la planta. Además de las 44 progenies se incluyeron dos variedades comerciales utilizadas como control así, la variedad Caturra como control susceptible, mientras que la variedad Castillo® fue utilizada como control resistente a la roya.

Antes del establecimiento de las progenies en el campo, en la etapa de almácigo dentro de cada progenie se eliminaron las plantas anormales y de escaso crecimiento, siendo solo establecidas aquellas que conservaron el fenotipo de la progenie. De igual manera, durante esta etapa se identificó la segregación o no para el gen *Ct* que condiciona porte bajo en todas las progenies evaluadas.

En el lote experimental, las progenies se establecieron a una densidad de 7.142 plantas/ha (distancias de siembra de 1,0 m entre plantas y 1,4 m entre surcos), con un tallo por sitio. Se realizó el reemplazo de sitios perdidos durante los primeros seis meses, utilizando plantas establecidas para este propósito. No se realizó control químico de enfermedades en ninguna de las etapas de establecimiento y evaluación. La fertilización y corrección de acidez se realizó de acuerdo a los resultados del análisis de suelos.

Evaluación agronómica. Se evaluaron solo aquellas variables de interés agronómico, las cuales se relacionan con la densidad de siembra y ciclos de renovación (crecimiento), valor y aceptación comercial del producto (características del grano), potencial productivo (producción) y resistencia a enfermedades (roya).

Altura de la planta (ALT) y diámetro de copa (DCOP). Estas variables se evaluaron a los 24 meses después del establecimiento en el campo. Para la altura de la planta se tomó la distancia en centímetros (cm) desde la base del suelo hasta el ápice, mientras que para el diámetro de copa se tomó la distancia (en cm) entre las ramas plagiotrópicas opuestas de mayor longitud.

Características de fruto y grano. Los muestreos para su evaluación se realizaron en las semanas de mayor producción, determinando: porcentaje de granos vanos (GVAN), definido como el número de frutos maduros sanos que flotan en una muestra de 100 granos tomada al azar de la masa recolectada. El porcentaje de grano tipo caracol (GCAR) se determinó contando el número de granos con esta forma, existentes en una muestra de 400 granos tomada al azar. Para la estimación del tamaño de grano se utilizó una muestra de 90 a 100 gramos de café almendra (sin pergamino), y se determinó mediante el porcentaje del peso total retenido sobre una malla de orificios circulares de tamaño 17/64 de pulgada después de un minuto de agitación. Comercialmente, este tipo de café es denominado como café supremo (GSUP).

Adicionalmente, mediante observaciones de campo se denotó la segregación o no para color de fruto en las progenies evaluadas. Esta actividad se realizó por la importancia que sobre la calidad puede tener la presencia de frutos amarillos, debido la dificultad de reconocimiento del grado de madurez óptimo.

Producción. Para determinar el potencial productivo de las progenies, se registró la cantidad en kilogramos de café cereza en cada uno de los pases para cada planta, desde el inicio del período productivo durante tres años consecutivos (PACU).

Resistencia a la roya. Se utilizó la infección bajo condiciones de campo para determinar la resistencia de las progenies, teniendo la variedad susceptible como punto de referencia para determinar la presencia de la enfermedad y condiciones ambientales favorables para su desarrollo. Para la evaluación, se empleó la escala I (Eskes & Toma-Braghini, 1981), la cual considera el árbol entero como unidad de observación, asignando un valor ascendente entre 0 y 9, dependiendo del número de lesiones esporuladas y su posición en el árbol. Se realizaron seis mediciones, dos por año a partir de los 18 meses después de la siembra, en los períodos de mayor incidencia de la enfermedad para la zona de estudio.

Análisis de la información

Se verificó la consistencia de los valores para las variables en cada una de las unidades de observación, descartando aquellos que provenían de plantas con problemas de desarrollo o afectación mecánica. Para la variable producción, se sumaron los kilogramos de café cereza obtenidos en cada planta durante el período evaluado. En el caso de las características de grano, se verificó la consistencia entre períodos, y se promediaron los valores por planta. Para las variables cuantitativas, se realizó el análisis de varianza (ANAVA) para un diseño en bloques completos al azar, utilizando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS V 9.4. Cuando el ANAVA mostró diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de Dunnett para identificar diferencias a favor de progenies con respecto a la variedad resistente (testigo). Los estimadores coeficiente de variación experimental (CV_e), coeficiente de variación genética (CV_g) y heredabilidad en sentido amplio (h_a^2) se determinaron por el método de los cuadrados medios esperados de los componentes de la varianza y el cociente entre los desvíos estándar respectivos y la media de cada variable, respectivamente (Barriga et al., 1983; Johnson et al., 1955).

Para determinar la resistencia de las progenies evaluadas se tomó la calificación máxima obtenida en cada unidad de observación, como el nivel que la enfermedad puede alcanzar, y se realizaron distribuciones de frecuencia para cada progenie. Las plantas con calificaciones iguales o menores a tres pueden ser consideradas resistentes (Eskes et al., 1990), por lo que, en este estudio se definió una progenie como resistente, cuando al menos el 90% de las plantas evaluadas presentan valores máximos menores o iguales a tres en la escala.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación agronómica. En términos generales, en los lotes experimentales se observaron progenies con atributos agronómicos de gran interés que denotan la fijación de estos, así como la posibilidad de obtener avances significativos a través de selección (Tabla 3).

Tabla 3. Valores medios y error estándar (EE) para las variables agronómicas de 44 progenies F4 y F5 evaluadas en los dos lotes experimentales.

			Variable											
Lote	Trat.	Progenie	ALT (cm)	EE	DCOP (cm)	EE	GVAN (%)	EE	GCAR (%)	EE	GSUP (%)	EE	PACU (kg/cc/p)	EE
1	1	MEG2.32(2009-14) #1419	125,4*	1,6	140,5*	2,2	5,4	0,3	16,2*	0,6	47,1*	2,0	9,7	0,3
	2	MEG2.32(2009-14) #889	155,5	2,2	151,0	2,3	5,9	0,4	12,4*	0,4	55,8*	2,1	9,3	0,2
	3	MEG2.32(2009-14) #72	128,9*	3,9	121,6*	5,8	3,6	0,3	11,8	0,4	49,6*	2,7	7,1*	0,5
	4	MEG2.32(2009-14) #78	125,8*	3,1	118,3*	4,7	4,3	0,7	11,1	0,6	51,6*	3,5	4,8*	0,3
	5	MEG2.32(2009-14) #1282	141,0	2,6	145,7	2,8	9,3	0,8	17,0*	0,9	47,0*	2,6	10,2	0,5
	6	MEG2.32(2009-14) #1465	156,5	3,3	149,0	3,9	7,1	0,4	10,2	0,6	56,0*	2,2	10,2	0,3
	7	MEG2.32(2009-14) #1200	131,8*	3,3	122,3*	4,0	6,5	0,7	12,4*	0,9	50,3*	3,0	9,1	0,5
	8	MEG2.32(2009-14) #1199	131,7*	2,8	132,4*	3,2	6,1	0,5	14,2*	0,6	35,9*	2,5	9,6	0,5
	9	MEG2.32(2009-14) #942	161,4*	2,4	157,4	2,2	4,6	0,5	9,7	0,5	75,2	1,3	10,8	0,4
	10	MEG2.32(2009-14) #598	150,6	2,3	145,1	3,5	3,8	0,3	16,7*	0,5	81,5	0,6	10,6	0,3
	11	MEG2.32(2009-14) #399	145,7	1,8	131,7*	2,0	7,0	0,4	13,8*	0,7	78,9	0,9	7,4*	0,3
	12	MEG2.32(2009-14) #1013	145,8	3,6	149,3	4,2	6,8	0,5	13,3*	0,7	59,9*	2,5	11,4	0,5

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Progenie	Variable											
			ALT (cm)	EE	DCOP (cm)	EE	GVAN (%)	EE	GCAR (%)	EE	GSUP (%)	EE	PACU (kg/cc/p)	EE
1	13	MEG2.32(2009-14) #487	139,8*	2,4	136,1*	3,4	6,8	0,6	10,5	1	23,5*	2,7	7,3*	0,4
	14	MEG2.32(2009-14) #1057	142,3	2,5	142,5	2,5	4,3	0,2	14,2*	0,5	59,8*	2,0	8,5	0,3
	15	MEG2.32(2009-14) #62	139,6	2,5	135,1*	2,3	6,2	0,4	14,4*	0,5	72,4	1,1	8,8	0,3
	16	MEG2.32(2009-14) #503	142,7	2,1	142,9	3,2	3,8	0,4	7,2	0,4	40,8*	2,1	11,3	0,4
	17	MEG2.32(2009-14) #951	137,3	3,2	144,7	3,1	3,6	0,2	10,7	0,6	83,8	1,1	7,6*	0,4
	18	MEG2.32(2009-14) #403	146,0	2,1	147,3	2,6	7,8	1,2	11,6	0,7	80,5	1,9	10	0,4
	19	MEG2.32(2009-14) #620	135,4*	2,5	144,9	3,3	4,3	0,3	13,9*	0,5	45,9*	2,5	10,1	0,4
	20	MEG2.32(2009-14) #1308	147,8	2,7	147,0	2,3	5,7	0,4	16,6*	1	67,4*	2,0	8,3	0,4
	21	MEG2.32(2009-14) #1070	135,6*	2,2	136,2*	3,1	7,9	1	15,1*	0,6	66,0*	1,6	8,6	0,5
	22	MEG2.32(2009-14) #1331	145,1	2,3	149,8	3,1	6,6	0,7	12,4*	0,5	66,9*	2,4	9,3	0,4
		Variedad Resistente	151,0	3,2	151,8	3,9	5,6	0,4	9,7	0,5	79,1	1,9	9,7	0,4
		Variedad Susceptible	154,3	2,0	150,7	2,2	7,2	0,9	11,0	0,6	42,7*	2,6	4,9*	0,3

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Progenie	Variable											
			ALT (cm)	EE	DCOP (cm)	EE	GVAN (%)	EE	GCAR (%)	EE	GSUP (%)	EE	PACU (kg/cc/p)	EE
2	1	FIT102009(Vitrina) #427	146,2	2,4	140,5*	3,1	4,4	0,3	15,2*	0,5	71,6	1,8	9,1*	0,4
	2	FIT102009(Vitrina) #493	178,1*	1,9	169,1	2,1	4,6	0,3	12,2	0,4	38,3*	2,9	11,9*	0,3
	3	FIT102009(Vitrina) #480	170,1*	2,0	163,8	2,1	6,3	0,7	14,2*	0,6	66,1*	2,6	9,4*	0,3
	4	FIT102009(Vitrina) #460	156,6	3,6	150,7*	3,3	9,1	0,8	15,9*	0,6	71	2,0	8,9	0,4
	5	FIT102009(Vitrina) #218	175,8*	2,2	176,6*	2,2	7,8	0,9	15,5*	0,7	83	1,2	10,8*	0,4
	6	FIT102009(Vitrina) #116	160,3	2,7	149,7*	3,3	4,6	0,3	15,2*	0,8	73,5	2,0	9	0,4
	7	FIT102009(Vitrina) #364	169,8*	1,8	164,3	2,2	3,5	0,2	11,8	0,3	65,6*	2,4	12,2*	0,5
	8	MEG2.32(2009-14) #1563	165,2*	2,3	165,8	3,0	6,3	0,7	13,7	0,8	60,1*	2,2	9,4*	0,3
	9	FIT102009(Vitrina) #612	153,9	1,9	150,7*	2,0	7,0	0,4	12,4	0,4	77,4	1,7	9,3*	0,4
	10	FIT102009(Vitrina) #341	152,0	1,9	150,9*	2,8	3,4	0,7	17,0*	1,2	45,1*	4,7	6,3	0,3
	11	FIT102009(Vitrina) #728	148,9	2,0	156,3	1,9	4,0	0,9	15,9*	1,9	30,2*	5,4	5,8*	0,3
	12	FIT102009(Vitrina) #621	151,3	2,6	146,9*	2,2	6,8	1,1	16,6	1,9	67,8*	3,0	5,9*	0,3

Continúa...

...continuación.

Lote	Trat.	Progenie	Variable											
			ALT (cm)	EE	DCOP (cm)	EE	GVAN (%)	EE	GCAR (%)	EE	GSUP (%)	EE	PACU (kg/cc/p)	EE
2	13	FIT102009(Vitrina) #633	157,4	2,1	137,7*	2,2	4,6	0,6	12,8*	1,1	38,6*	3,7	6,1*	0,3
	14	FIT102009(Vitrina) #635	145,8	2,2	141,6*	2,2	6,5	0,7	13	0,8	48,9*	3,7	7,0	0,3
	15	MEG2.32(2010-5) #34	173,5*	2,1	166,0	2,5	4,7	0,5	16,1*	0,9	53,8*	2,6	9,1*	0,3
	16	MEG2.32(2010-5) #67	166,2*	2,4	153,0	2,5	6,3	0,5	7,6	1	90,3	1,1	8,8	0,3
	17	MEG2.32(2010-5) #197	153,1	2,4	138,8*	2,1	5,6	0,5	17,8*	0,9	62,5*	3,0	7,8	0,4
	18	MEG2.32(2010-5) #461	169,6*	2,6	161,2	3,0	3,8	0,3	12,7	0,5	61,9*	2,3	9,0	0,4
	19	MEG2.32(2010-5) #205	146,8	2,5	150,2*	3,7	7,2	0,8	18,4*	0,7	71,7	1,5	8,0	0,4
	20	MEG2.32(2010-5) #528	141,8*	2,0	146,9*	2,0	7,4	0,8	20,2*	1	67,0*	2,5	6,0*	0,3
	21	MEG2.32(2010-5) #384	168,0*	2,5	164,9	3,1	5,0	0,5	10,6	0,5	70,0	1,2	9,2*	0,3
	22	MEG2.32(2010-5) #633	158,7	3,7	151,7*	3,1	4,3	0,3	14,5	0,5	73	1	9,8*	0,3
		Variedad Resistente	154,0	2,2	163,6	3,0	8,9	0,9	9,5	0,7	87,7	0,8	7,6	0,3
		Variedad Susceptible	152,8	3,2	148,4*	3,6	3,3	0,3	10,2	0,4	52,8*	1,7	6,9	0,3

* Indica diferencias estadísticamente significativas con respecto a la variedad comercial (Variedad Castillo®) según prueba de Dunnett al 5%.

ALT: Altura de planta, DCOP: diámetro de copa, GVAN: contenido de granos vanos, GCAR: tipo caracol, GSUP: tamaño de grano y PACU: producción acumulada.

Adicional al comportamiento agronómico de los genotipos evaluados, en el mejoramiento genético los estimadores CVe, CVg y h_a^2 son de gran relevancia. El primero es un indicativo de la variabilidad de los datos registrados en el lote experimental, además de permitir cuantificar de forma práctica la influencia del ambiente sobre la expresión de una determinada característica. Así mismo, el CVg indica la cantidad de variabilidad genética entre familias y las medias poblacionales respectivas, mientras la h_a^2 expresa la confiabilidad del valor fenotípico como estimador del valor genético, convirtiéndose en un valor predictivo del comportamiento de la población (Falconer, 1987). De acuerdo con este, a mayor valor de heredabilidad, mayor será la ganancia genética por selección. En resumen, estos estimadores representan la magnitud de la variabilidad genética existente e indican que la selección de las progenies con los mejores valores repercutirá en la mejora de estos atributos en la población (Piza et al., 2023).

En las progenies el CVe presentó valores bajos (<10%) para tres de las seis variables evaluadas, para el caso de aquellas relacionadas al crecimiento de la planta (ALT, DCOP) los valores fueron similares en el parámetro CVg, mientras para el contenido de GSUP fue cerca de un tercio de su valor (Tabla 4). Este comportamiento permite denotar la imposibilidad de seguir reduciendo el porte de las plantas a través de selección, mientras que la variación debida al componente genético en el tamaño de grano, así como para las demás variables permite obtener avances importantes en la población.

Para el caso de las variables ALT y DCOP, fenotípicamente para ambos lotes experimentales todas las progenies fueron consideradas de crecimiento compacto por dos razones fundamentales: primero, los valores para las variables relacionadas (ALT, DCOP) no se alejaron de los observados para este tipo de crecimiento; segundo, en las observaciones realizadas en almácigo y durante el establecimiento no se denotó en ninguna de las progenies la presencia de entrenudos de mayor longitud, característico de variedades de porte alto.

Adicionalmente, el bajo CVg puede estar relacionado con el determinismo genético de esta variable en la especie, donde a pesar de ser de tipo cuantitativo, se han identificado tres genes dominantes (*Ct*, *Sb* y *Sr*) (Carvalho et al., 1984) que reducen de manera significativa la longitud de entrenudos, siendo las progenies evaluadas de constitución *CtCt.* Adicionalmente los valores de h_a^2, superiores al 78% para estas variables manifiestan la posibilidad de predecir su comportamiento en generaciones posteriores. Es de tener en cuenta que las estimaciones realizadas son el resultado de su interacción en un único ambiente, por lo que los valores de h_a^2 determinados pueden ser sobreestimados (Johnson et al., 1955; Servellón, 1996), siendo necesaria su comprobación temporal y espacial. Sin embargo, en *C. arabica* la variación observada para estas variables son mayoritariamente de origen genético por lo que, si bien es reconocida una interacción con el ambiente, las diferencias entre progenies tienden a mantenerse a través de estos (Castillo & Moreno, 1988).

Caso contrario ocurre con las características de grano, donde los mayores valores de CVg y h_a^2 fueron observados para las progenies evaluadas en ambos lotes experimentales, denotando la posibilidad de obtener avances debido al control genético existente. En el caso de los defectos de grano, su ocurrencia está relacionada con abortos en estados tempranos (grano caracol) o tardíos (grano vano) de desarrollo del grano (Bertrand et al., 2011) que, bajo condiciones óptimas de cultivo tienen un componente genético importante, de mayor

Tabla 4. Parámetros estadísticos para distintas variables medidas en 44 progenies F4 y F5 evaluadas en los dos lotes experimentales.

Variable	QM_{Pro}				QM_{Res}		μ_{Pr}		CVe		CVg		h_a^2	
	Lote 1	p-value	Lote 2	p-value	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2
ALT (cm)	590,0	1,9 E-12	703,6	2,4 E-15	88,4	79,3	141,9	159,6	6,6	5,6	6,5	6,4	85,0	88,7
DCOP (cm)	597,0	3,1 E-8	684,9	9,1 E-12	128,2	102,2	141,3	154,6	8,0	6,6	6,3	6,4	78,5	85,1
GVAN (%)	13,0	3,4 E-14	10,4	1,1 E-13	1,6	1,5	5,6	5,4	22,7	23,1	24,7	22,7	87,5	85,7
GCAR (%)	41,2	6,7 E-23	31,3	7,2 E-12	2,9	5,0	13,1	13,7	13,1	16,5	19,5	15,4	93,1	84,2
GSUP (%)	1603,0	1,2 E-24	1291,5	6,3 E-47	32,6	25,5	59,3	64,0	9,8	8,1	27,4	23,1	98,0	98,0
PACU (kg/cc/p)	16,6	1,9 E-16	19,8	4,1 E-20	2,3	1,6	9,1	8,6	18,4	15,4	18,2	20,8	86,0	91,7

QM_{Pro} cuadrado medio progenie; QM_{Res}, cuadrado medio del residuo; μ_{Pr}, media de progenies; CVe, coeficiente de variación experimental; CVg, coeficiente de variación genética; h_a^2, heredabilidad en sentido amplio.

ALT: Altura de planta, DCOP: diámetro de copa, GVAN: contenido de granos vanos, GCAR: tipo caracol, GSUP: tamaño de grano y PACU: producción acumulada.

frecuencia en poblaciones de origen híbrido (Alvarado & Cortina, 1997; Cortina & Castro, 2015). A su vez, para el tamaño de grano se reconoce una alta influencia ambiental (Castillo & Moreno, 1982) y efectos heteróticos (Castillo & Moreno, 1988).

En el cultivo de café la variación existente para las características de grano ha permitido cambios importantes, donde el mayor tamaño y reducido contenido de defectos (vanos y caracol) son la constante y un prerrequisito de aceptación (Alvarado, 2002). Entre lotes experimentales, las progenies evaluadas presentan valores similares, donde las diferencias entre las medias no supera el 8,0%, por lo que podrían considerarse uniformes. Este hecho está posiblemente relacionado a los criterios de selección establecidos en generaciones anteriores, aspecto que se refleja principalmente en el contenido de GVAN, donde todas las progenies presentaron valores dentro del rango de aceptación comercial (<10%) (Tabla 3). Este comportamiento es concordante con otros estudios (Castillo & Moreno, 1988), que resaltan la alta respuesta a la selección de esta variable, con h_a^2 entre 0,51 y 0,86, valores similares a los observados en este estudio (0,87 – 0,85).

Entre tanto, el contenido de GCAR tuvo una media de 13,1 y 13,7, donde el 20% de las progenies presentan valores por debajo del valor fijado como criterio de selección (<10%), mientras en 73% de estas no supera el 15% (Tabla 3), valor común en variedades comerciales de amplia aceptación (Castillo & Moreno, 1988).

El mayor contenido de este tipo de grano en las progenies evaluadas puede tener relación con los progenitores utilizados. En primer lugar, el 70% de estas utilizan derivados de hibridación interespecífica (*C. arabica* x *C. canephora*) donde una alta frecuencia de este tipo de grano es característico (Alvarado & Cortina, 1997; Cortina, 2019; Cortina & Castro, 2015). En segundo lugar, como progenitor recurrente es utilizado germoplasma de procedencia etíope, donde este tipo de grano es predominante (Meyer et al., 1968). Estos hechos demuestran la importancia del conocimiento de las fuentes a utilizar por los programas de mejoramiento genético, del cual dependerá la intensidad de selección requerida cuando se quiere hacer selección para diversos atributos. Este aspecto es resaltado (Bertrand et al., 2005), y aunque el valor de h_a^2 observado en las poblaciones bajo estudio es mayor a 84%, los CV_g inferiores al 20% indicarían que la ganancia agronómica posiblemente sea baja en generaciones posteriores. Sin embargo, al igual que para las variables de crecimiento, los valores para los defectos observados en las progenies no son una limitante importante. En contraste, variables como el tamaño de grano, rendimiento y especialmente resistencia a la roya del cafeto, son clave para el uso y aceptación comercial de cualquier genotipo.

En las progenies bajo estudio se observó un contenido de GSUP comprendido entre el 21,7% y el 88,3%, siendo para el 54% de ellas superior al 60%, valor de referencia en variedades tradicionales (Tabla 3). A pesar de que se ha indicado una h_a^2 de 0,39 (Castillo & Moreno, 1982) y la presencia de efectos heteróticos, los cuales tienden a disminuir a través de generaciones, el contenido de GSUP es después de la resistencia a la roya, la variable donde mayores logros se ha obtenido en las variedades actuales (Alvarado, 2002; Flórez et al., 2016). Los contenidos de GSUP han pasado de alrededor de 60% a valores por encima del 80% (Flórez et al., 2016), preferidas por los caficultores, dada su relación directa con un mayor valor comercial del producto

(Alvarado, 2002). Contrario a otros estudios (Castillo & Moreno, 1982), en este la h_a^2 tomó valores en ambos lotes mayores al 95%, que sumado a los CVg mayores al 20% indican la posibilidad de seleccionar progenies con altos contenidos de GSUP y que esta característica posiblemente será mantenida en generaciones posteriores. Este hecho es resaltado por Castillo & Moreno (1988), donde además indican que existe una correlación alta (>0,67) entre progenitores y progenie para esta variable. No obstante, en este estudio solo el 25% de las progenies presentaron un comportamiento similar al de su progenitor, siendo en el lote experimental uno, el contenido menor al esperado, mientras en el lote experimental dos ocurrió el caso opuesto.

Es de anotar que el comportamiento para esta variable en las familias que dieron origen a las progenies evaluadas en el lote experimental dos, pudo ser influenciado por condiciones ambientales o de manejo agronómico, dado que las variedades comerciales utilizadas como control presentaron contendidos inferiores a los esperados (datos no mostrados). Si bien los valores de h_a^2 y CVg son favorables para la selección, los factores no genéticos también deben ser considerados.

El potencial productivo es un objetivo básico de los programas de mejoramiento genético, debido a que otros aspectos como calidad y resistencia a enfermedades pierden interés cuando la producción es baja. Las progenies evaluadas produjeron entre 4,8 y 12,2 kg/planta de café cereza (cc), la media entre lotes experimentales, difirió en 0,5 kg/planta de cc, mientras los valores extremos difirieron entre 0,8 y 1,0 kg/planta de cc (Tabla 3). En ambos lotes experimentales, los parámetros de h_a^2 y CVg mostraron valores de utilidad para la selección, similares a los reportados en otros estudios (Castillo & Moreno, 1982), que en conjunto con las demás características evaluadas podrían denotar el potencial de estas progenies. Aunque la selección de las progenies de mayor producción asegura ganancias considerables en las generaciones siguientes (Castillo & Moreno, 1988), los valores de CVg no superaron el 20%, lo que limitaría dicha ganancia. De igual manera, para el lote experimental uno, el CVe (18,43%) fue similar al CVg (18,16%), consecuencia posiblemente de la alta interacción genotipo x ambiente, la cual condiciona la expresión de esta variable.

Resistencia a la roya

En el caso de la resistencia a la roya, principal propósito de desarrollo de las progenies bajo estudio, aunque en las generaciones anteriores se hizo selección por esta característica (Tabla 2), se observó una considerable variación en su respuesta bajo condiciones de campo. De acuerdo con los criterios de selección establecidos, el 25% de las progenies evaluadas se destaca por su resistencia a la roya, mientras en las demás se observó un comportamiento variable, sin alcanzar en ningún caso valores similares a los de la variedad susceptible (Tabla 5).

En café, la resistencia a la enfermedad se rige bajo la teoría de gen por gen (Flor, 1971), hecho que permitió la identificación de genes y su transferencia para la obtención de variedades resistentes mediante selección asistida (Mayne, 1932; Rodrigues et al., 1975). Después de la llegada de la enfermedad a América, la infección natural en el campo fue implementada por los programas de mejoramiento genético (Moreno, 2004), dado que una mayor diversidad de variantes de la enfermedad hacía poco eficiente la selección previamente realizada con razas conocidas (Alvarado & Cortina, 1997).

Tabla 5. Distribución de frecuencia para la calificación máxima de incidencia por roya en 44 progenies F4 y F5 evaluadas en dos lotes experimentales.

Lote	Tratamiento	Progenie	Porcentaje de plantas de cada en cada grado de la escala I de Eskes y Braghini			Total Plantas	Moda
			0-3	4-5	6-8		
	1	MEG2.32(2009-14) #1419	66,7	22,9	10,4	48	3
	2	MEG2.32(2009-14) #889	8,3	56,3	35,4	48	2
	3	MEG2.32(2009-14) #72	58,1	41,9	0,0	43	1
	4	MEG2.32(2009-14) #78	64,6	31,3	4,2	48	4
	5	MEG2.32(2009-14) #1282	20,8	47,9	31,3	48	5
	6	MEG2.32(2009-14) #1465	100,0	0,0	0,0	47	0
	7	MEG2.32(2009-14) #1200	68,1	17,0	14,9	47	0
	8	MEG2.32(2009-14) #1199	93,6	6,4	0,0	47	0
	9	MEG2.32(2009-14) #942	23,4	55,3	21,3	47	4
	10	MEG2.32(2009-14) #598	79,2	20,8	0,0	48	3
	11	MEG2.32(2009-14) #399	27,1	58,3	14,6	48	4
1	12	MEG2.32(2009-14) #1013	80,0	17,8	2,2	45	3
	13	MEG2.32(2009-14) #487	10,4	50,0	39,6	48	5
	14	MEG2.32(2009-14) #1057	6,3	87,5	6,3	48	4
	15	MEG2.32(2009-14) #62	16,7	81,3	2,1	48	4
	16	MEG2.32(2009-14) #503	100,0	0,0	0,0	48	0
	17	MEG2.32(2009-14) #951	91,1	8,9	0,0	45	2
	18	MEG2.32(2009-14) #403	14,6	70,8	14,6	48	4
	19	MEG2.32(2009-14) #620	85,4	14,6	0,0	48	0
	20	MEG2.32(2009-14) #1308	10,4	77,1	12,5	48	4
	21	MEG2.32(2009-14) #1070	72,9	25,0	2,1	48	3
	22	MEG2.32(2009-14) #1331	66,7	31,3	2,1	48	4
		Variedad Susceptible	0	0	100	48	8

Continúa...

...continuación.

Lote	Tratamiento	Progenie	Porcentaje de plantas de cada en cada grado de la escala I de Eskes y Braghini			Total Plantas	Moda
			0-3	4-5	6-8		
	1	FIT102009(Vitrina) #427	72,9	16,7	10,4	48	3
	2	FIT102009(Vitrina) #493	93,8	6,3	0,0	48	2
	3	FIT102009(Vitrina) #480	100,0	0,0	0,0	48	0
	4	FIT102009(Vitrina) #460	50,0	41,7	8,3	48	5
	5	FIT102009(Vitrina) #218	100,0	0,0	0,0	48	0
	6	FIT102009(Vitrina) #116	66,7	25,0	8,3	48	1
	7	FIT102009(Vitrina) #364	89,6	10,4	0,0	48	0
	8	MEG2.32(2009-14) #1563	29,2	58,3	12,5	48	4
	9	FIT102009(Vitrina) #612	100,0	0,0	0,0	47	0
	10	FIT102009(Vitrina) #341	55,3	44,7	0,0	47	4
	11	FIT102009(Vitrina) #728	85,4	14,6	0,0	48	5
2	12	FIT102009(Vitrina) #621	12,5	83,3	4,2	48	4
	13	FIT102009(Vitrina) #633	4,2	70,8	25,0	48	5
	14	FIT102009(Vitrina) #635	10,4	58,3	31,3	48	5
	15	MEG2.32(2010-5) #34	31,3	33,3	35,4	48	6
	16	MEG2.32(2010-5) #67	27,1	64,6	8,3	48	4
	17	MEG2.32(2010-5) #197	81,3	16,7	2,1	48	0
	18	MEG2.32(2010-5) #461	53,2	27,7	19,1	47	2
	19	MEG2.32(2010-5) #205	20,8	79,2	0,0	48	4
	20	MEG2.32(2010-5) #528	66,7	29,2	4,2	48	3
	21	MEG2.32(2010-5) #384	89,6	10,4	0,0	48	2
	22	MEG2.32(2010-5) #633	93,8	6,3	0,0	48	1
		Variedad Susceptible	0,0	22,9	77,1	48	7

Es necesario tener en cuenta que, si las condiciones ambientales no son favorables, las infecciones naturales pueden conducir a una sobrestimación de la resistencia de determinado genotipo y, por lo tanto, la fijación de la característica en la población. En este sentido, la observación de la respuesta frente a la roya, en progenies descendientes de una misma familia F3, contribuye a validar los resultados, dado que en el 90% de ellas, la incidencia de la enfermedad fue comparable. Para el caso de las progenies MEG2.32(2009-14) #1199 y MEG2.32(2009-14) #1200 fue contrastante, dado que las plantas de la segunda se distribuyeron en siete de los nueve valores de la escala, a diferencia de la primera cuyo valor máximo registrado en las plantas fue de cuatro (Tabla 5). Este comportamiento puede obedecer a una posible segregación en los genes que condicionan la resistencia en uno de estos genotipos o a un posible escape de la enfermedad.

En relación a la correspondencia entre el progenitor y su progenie, se denotó que en aquellas seleccionadas por tener el 100% de sus plantas con los valores más bajos en la escala (0-3), conllevó en el 43% de los casos a una respuesta similar en su progenie. Así mismo, a medida que disminuyó la resistencia en el progenitor, aumentó la incidencia en su progenie, evidenciando la necesidad de una fuerte presión de selección desde etapas tempranas. El control susceptible, utilizado para determinar el grado de infección natural y las condiciones ambientales favorables para su desarrollo, presentó en ambos lotes experimentales valores en la escala ≥5, con moda de ocho y siete en el lote experimental uno y dos, respectivamente, siendo así el de mayor afectación. En contraste, ninguna de las progenies evaluadas fue similar a esta, prevaleciendo valores intermedios en la escala de evaluación, predominando modas de tres y cuatro, las cuales podrían considerarse como moderadamente resistentes (Eskes et al., 1990).

Si bien es cierto que en café la resistencia de tipo cualitativo o vertical (Van der plank, 1963) ha demostrado ser poco durable (Eskes et al., 1990), su utilización dentro de la estrategia de diversidad ha sido efectiva para el manejo de la enfermedad, como lo han demostrado las variedades compuestas utilizadas en la caficultura colombiana (Moreno, 2004). Esta afirmación es soportada por dos aspectos fundamentales: (i) los parámetros para determinar su eficacia son cumplidos (período de tiempo utilizadas, área ocupada y condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad) (Johnson, 1984); y (ii) a diferencia de variedades tales como Costa Rica 95 o Lempira 98 de liberación posterior y usadas a menor escala, la variedad Colombia (Castillo & Moreno, 1988) continúa siendo considerada resistente. Adicionalmente, las observaciones realizadas señalan como en café el uso de esta estrategia, ante la presencia de variantes compatibles, limita el desarrollo de la enfermedad, evitando alcanzar niveles de daño económico (Alvarado & Moreno, 2005; Arias, 2019).

Así mismo, para *C. arabica* a los genes responsables de la resistencia cualitativa le han sido atribuidos efectos residuales que condicionan la resistencia cuantitativa una vez la primera es vencida (Herrera et al., 2009). En este sentido, son diversos los estudios en café que señalan este hecho, en su gran mayoría realizados bajo condiciones controladas, a través de la estimación de diferentes componentes de este tipo de resistencia (Alvarado & Solórzano, 2001; Eskes et al., 1990; Zambolim, 2016). En genotipos considerados resistentes, ante la

presencia de variantes de roya compatibles y fuera del esquema de diversidad, la enfermedad puede alcanzar en el tiempo valores similares a los observados en genotipos susceptibles (Arias, 2019). Este comportamiento también fue observado en *Plantago lanceolata*, donde genotipos seleccionados por resistencia cuantitativa bajo condiciones controladas, eran afectadas de forma similar que los susceptibles en condiciones de campo (Susi & Laine, 2015). Por tal motivo, una alta intensidad de selección debe ser realizada y aunque las progenies con valores intermedios podrían poseer resistencia de tipo cuantitativo, el desconocimiento de su durabilidad, sumado al largo ciclo de cultivo de la especie (>20 años) restringiría su uso.

Potencial de selección

Si bien, la importancia económica de la roya del cafeto indica la necesidad de ser un objetivo básico en el mejoramiento genético de la especie, en la práctica es un atributo más dentro del conjunto agronómico deseado. En las progenies evaluadas, como se denotó anteriormente, la variación observada en el crecimiento (ALT, DCOP) y defectos de grano (GVAN, GCAR) no distan de las observadas en las variedades comerciales, por lo que no son limitantes. Caso contrario ocurre con GSUP y la PACUM, donde una amplia variación fue observada, siendo además variables clave para definir su aceptación o rechazo de una determinada progenie. La Tabla 6 muestra el comportamiento para estas variables en las progenies consideradas de mayor resistencia.

El tamaño de grano es quizás la principal limitante de selección para las progenies resistentes a la roya, dado que el contenido de GSUP en seis de ellas es significativamente inferior al de las variedades actualmente utilizadas (Dunnett $p<0,05$), identificando incluso tres casos con menos del 50% de grano supremo. Caso opuesto ocurre con el potencial productivo, el cual es igual (Dunnett $p>0,05$) o con diferencias a favor (Dunnett $p<0,05$) al observado en el testigo comercial de mejor rendimiento, exceptuando la progenie MEG2.32(2009-14) #951. La selección conjunta por diversos atributos permite identificar cuatro progenies, equivalentes al 9% de la población, con potencial para su evaluación en pruebas de adaptación regional, con miras a ser utilizadas en la caficultura colombiana en el corto plazo.

Un punto importante a considerar está relacionado con el origen genético de la resistencia a la roya de estas progenies, dado que proceden de diferentes híbridos, hecho que indicaría la presencia de diversos genes de resistencia. En tres de los casos se usó como progenitor femenino derivados de HIE, y uno proveniente de CatxHdT, mientras que como donante de polen se utilizaron tres accesiones etíopes recolectadas por la FAO y ORSTOM en Etiopía (Meyer et al., 1968; Guillaumet & Halle, 1978), y la variedad N.197 proveniente del programa de mejoramiento genético de Tanzania (Indian Coffee Board, 1953). El origen del germoplasma utilizado puede ser considerado diverso, no explotado de forma comercial y bajo el esquema de diversidad utilizado en las variedades compuestas, contribuirá de forma importante en la durabilidad de la resistencia. Es este sentido, la inclusión de la mayor cantidad posible de heterogeneidad genética de resistencia dentro de una variedad repercutirá en su durabilidad (Clin et al., 2022), limitando la diseminación de los cambios en el patógeno con la capacidad de vencerla.

Tabla 6. Comportamiento agronómico de las progenies con menor incidencia de la enfermedad (>90% plantas con calificaciones ≤3).

Lote	Trat.	Progenie	(Porcentaje de plantas con incidencia ≤3 escala de Eskes & Braghini)	GSUP (Porcentaje de granos sobre malla 17/64)	PACU (kg/planta de cc)
1	6	MEG2.32(2009-14) #1465	100%	56,0*↓	10,2
	8	MEG2.32(2009-14) #1199	94%	35,9*↓	9,6
	16	MEG2.32(2009-14) #503	100%	40,8*↓	11,3
	17	MEG2.32(2009-14) #951	91%	83,8	7,6*
2	2	FIT102009(Vitrina) #493	94%	38,3*↓	11,9*↑
	3	FIT102009(Vitrina) #480	100%	66,1*↓	9,4
	5	FIT102009(Vitrina) #218ı	100%	83,0	10,8*↑
	7	FIT102009(Vitrina) #364	90%	65,6*↓	12,2*↑
	9	FIT102009(Vitrina) #612ı	100%	77,4	9,3*↑
	22	MEG2.32(2010-5) #633ı	94%	73,0	9,8*↑
	21	MEG2.32(2010-5) #384ı	90%	70,0	9,2*↑

*Dentro de cada lote experimental, el valor de la progenie presenta diferencias estadísticas significativas con respecto a la variedad comercial, según prueba de Dunnett al 5%. ↓ valor inferior o ↑superior al testigo comercial.

ı Progenies con atributos agronómicos con potencial para selección.

Puede concluirse que la obtención de variedades en café, debido al largo ciclo de cultivo, requiere de un esfuerzo en tiempo y recursos, donde las fuentes a utilizar y la presión de selección ejercida impactará el cumplimiento de los objetivos propuestos. La evaluación realizada demuestra este hecho, donde después de 20 años de haber sido elegidas las fuentes y formadas las poblaciones, fue posible obtener un grupo de progenies con las características agronómicas propuestas. Adicionalmente, es la primera vez que germoplasma de otros orígenes, diferentes a Caturra x Híbrido de Timor, especialmente etíope, es utilizado en la obtención de progenies avanzadas, las cuales pueden ser fácilmente distribuidas a través de semillas. Es importante anotar que, la utilización de estos orígenes ha sido ampliamente aprovechada en la obtención de híbridos F1, no obstante, la ausencia de técnicas prácticas a precios razonables para su distribución han sido su principal limitante (McCook & Montero-Mora, 2024), por lo que su área cultivada es mínima. El uso comercial de las progenies seleccionadas estará condicionado por los resultados de las pruebas de adaptación regional, paso siguiente en el proceso de fitomejoramiento, que de ser favorables impactará de manera positiva a la caficultura.

AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores del Programa de Mejoramiento Genético, especialmente a los señores Jhon Esteban Quintero Arango, Juan Pablo Montoya y Gilbert Rodríguez. Al ingeniero agrónomo Jhon Félix Trejos y demás colaboradores de la Estación Experimental Naranjal. La investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), código MEG102004.

Contribuciones de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración de proyecto, Software, Supervisión, Visualización, Redacción–borrador original, Redacción–revisión y edición: **JCAS**; Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Redacción–borrador original, Redacción–revisión y edición: **RDMR**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

Acuña-Zornosa, R. & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2020). Identification of acid-tolerant coffee genotypes in a coffee germplasm collection in Colombia. *Coffee Science, 15,* e151727. https://doi.org/10.25186/.v15i.1727

Alvarado, G. (2002). Mejoramiento de las características agronómicas de la variedad Colombia mediante la modificación en su composición. *Avances Técnicos Cenicafé, 304*, 1–8. https://doi.org/10.38141/10779/0304

Alvarado, G., & Cortina, H. (1997). Comportamiento agronómico de progenies de híbridos triploides de *C. arabica* var. Caturra x (Caturra x *C. canephora*). *Revista Cenicafé*, 48(2), 73–91.

Alvarado, G., & Moreno, G. (2005). Cambio de la virulencia de Hemileia vastatrix en progenies de Caturra X Híbrido de Timor. *Revista Cenicafé*, *56*(2), 110–126.

Alvarado, G., & Solórzano, L. (2001). Caracterización de la resistencia incompleta a *Hemileia vastatrix* en genotipos de café en Colombia. *Revista Cenicafé, 52*(1), 5–19. http://hdl.handle.net/10778/765

Arias, J. C. (2019). Efecto de mezclas y unidad del área del genotipo sobre el incremento progresivo de Hemileia vastatrix Berk. y Br . *Revista Cenicafé*, *70*(2), 30–44. https://doi.org/10.38141/10778/70203

Arias, J. C. (2023). *La Colección Colombiana de Café: Conservando la diversidad genética para una caficultura sostenible*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0021

Arias, J. C., & Flórez, C. P. (2023). Identification of sources of male sterility in the Colombian Coffee Collection for the genetic improvement of *Coffea arabica* L. *PLOS ONE*, *18*(9), e0291264. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291264

Arias, J. C., López-Monsalve, L. F., Medina-Rivera, R. D., & Flórez-Ramos, C. P. (2025). Sensory characterization of the Ethiopian germplasm of *Coffea arabica* L. conserved in the Colombian Coffee Collection. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *9*, 1497350. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1497350

Barriga, P., Fuentes, R., Carrillo, B., & Jobet, C. (1983). Heredabilidad de algunos caracteres agronómicos y morfofisiológicos en triticale hexaploide. *Agro Sur*, *11*(1), 43–48

Benti, T., Gebre, E., Tesfaye, K., Berecha, G., Lashermes, P., Kyallo, M., & Kouadio Yao, N. (2021). Genetic diversity among commercial arabica coffee (*Coffea arabica* L.) varieties in Ethiopia using simple sequence repeat markers. *Journal of Crop Improvement*, *35*(2), 147–168. https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1803169

Bertrand, B., Alpizar, E., Lara, L., SantaCreo, R., Hidalgo, M., Quijano, J. M., Montagnon, C., Georget, F., & Etienne, H. (2011). Performance of *Coffea arabica* F1 hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with american pure line cultivars. *Euphytica*, *181*(2), 147–158. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0372-7

Bertrand, B., Davis, A. P., Maraval, I., Forestier, N., & Mieulet, D. (2023). Potential beverage quality of three wild coffee species (Coffea brevipes, C. congensis and C. stenophylla) and consideration of their agronomic use. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *103*(7), 3602–3612. https://doi.org/10.1002/jsfa.12347

Bertrand, B., Etienne, H., Cilas, C., Charrier, A., & Baradat, P. (2005). *Coffea arabica* hybrid performance for yield, fertility and bean weight. *Euphytica*, *141*(3), 255–262. https://doi.org/10.1007/s10681-005-7681-7

Carvalho, A., Medina Filho, H. P., Fazuoli, L. C., & Costa, W. M. da. (1984). Number of loci and gene action of short stature factors in *Coffea arabica* L. *Bragantia*, *43*, 425–442. https://doi.org/10.1590/S0006-87051984000200014

Castillo, J. (1977). Producción, variabilidad y distribución de la cosecha en introducciones de café, *Revista Cenicafé, 28*(3), 82–107. http://hdl.handle.net/10778/4311

Castillo, J. (1978). Características de grano de introducciones de café. *Revista Cenicafé, 29*(1), 3–17. http://hdl.handle.net/10778/4310

Castillo, J., & Moreno, G. (1982). Selección de cruzamientos derivados del Híbrido de Timor en la obtención de variedades mejoradas de café para Colombia. *Revista Cenicafé*, *32*(2), 37–53.

Castillo, J., & Moreno, G. (1988). *La Variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto*. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0023

Castillo, J., Moreno, G., & López, S. (1976). *Uso de resistencia genética a* Hemileia vastatrix *Berk & Br. Existente en el germoplasma de café en Colombia*. *Revista Cenicafé*, *27*(1), 3–25. http://hdl.handle.net/10778/994

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2016). *Informe Anual Cenicafé 2016*. https://doi.org/10.38141/10783/2016

Clin, P., Grognard, F., Andrivon, D., Mailleret, L., & Hamelin, F. M. (2022). Host mixtures for plant disease control: Benefits from pathogen selection and immune priming. *Evolutionary Applications*, *15*(6), 967-975. https://doi.org/10.1111/eva.13386

Cortina, H. (2019). Evaluación de progenies f4rc1 de (Caturra x Coffea *canephora*) x Caturra. *Revista Cenicafé*, *70*(1), 44–64. https://doi.org/10.38141/10778/70104

Cortina, H., & Castro, B. (2015). Evaluación de híbridos interespecíficos de *Coffea arabica* x *Coffea canephora* con resistencia a Hemileia vastatrix y Ceratocystis colombiana. *Revista Cenicafé*, *66*(2), 17–29.

Cortina, H. A., Moncada, M., & Herrera, J. C. (2012). Variedad Castillo ®: Preguntas frecuentes. *Avances Técnicos Cenicafé*, *426*, 1–12. https://doi.org/10.38141/10779/0426

Eskes, A. B., Hoogstraten, J. G. J., Toma-Braghini, M., & Carvalho, A. (1990). Race-specificity and inheritance of incomplete resistance to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Hibrido de Timor. *Euphytica*, *47*(1), 11–19. https://doi.org/10.1007/BF00040356

Eskes, A. B.,& Toma-Braghini, M. (1981). Métodos de evaluación de la resistencia contra la roya del cafeto

(*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). *Boletín Fitosanitario FAO, 29*(3-4), 56–66.

Falconer, D. S. (1987). *Introducción a la genética cuantitativa*. Compañía Editorial Continental.

Flor, H. H. (1971). Current Status of the Gene-For-Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, *9*(1), 275–296. https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001423

Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. D. P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón, J. R., & Duque Orrego, H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo altamente productiva resistente a la roya y al CBD con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, *469*, 1–8. https://doi.org/10.38141/10779/0469

Meyer, F. G., Fernie, L. M., Narasimhaswamy, R. L., Monaco, L. C., & Greathead, D. J. (1968). FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965. FAO.

Georget, F., Marie, L., Alpizar, E., Courtel, P., Bordeaux, M., Hidalgo, J. M., Marraccini, P., Breitler, J., Déchamp, E., Poncon, C., Etienne, H., & Bertrand, B. (2019). Starmaya: The first arabica F1 coffee hybrid produced using genetic male sterility. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1344. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01344

Gichuru, E., Alwora, G., Gimase, J., & Kathurima, C. (2021). Coffee Leaf Rust (Hemileia vastatrix) in Kenya—A Review. *Agronomy*, *11*(12), 2590. https://doi.org/10.3390/agronomy11122590

Guillaumet, J. L., & Halle, F. (1978). Échantillonnage du matériel *Coffea arabica* récolté en Éthiopie. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Cote d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966- Bulletin IFCC 14* (pp. 13–18). IFCC.

Herrera, J. C., Alvarado, G., Cortina, H. A., Combes, M. C., Romero, G., & Lashermes, P. (2009). Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated *Coffea arabica* L. from the diploid *C. canephora* species. *Euphytica*, *167*(1), 57–67. https://doi.org/10.1007/s10681-008-9860-9

Indian Coffee Board. (1953). *The sixth annual report of the research department of the Indian Coffee Board (1952 – 53)* (Núm. 6; Bulletin Research Department, pp. 7–27).

Jaramillo, A. (2018). *El Clima de la Caficultura en Colombia*. Cenicafé.

Johnson, H., Robinson, H. F., & Comstock, R. E. (1955). Estimates of Genetic and Environmental Variability in Soybeans1. *Agronomy Journal*, *47*(7), 314–318. https://doi.org/10.2134/agronj1955.00021962004700070009x

Johnson, R. (1984). A Critical Analysis of Durable Resistance. *Annual Review of Phytopathology*, *22*(1), 309–330. https://doi.org/10.1146/annurev.py.22.090184.001521

Mayne, W. W. (1932). Physiological Specialisation of Hemileia vastatrix B. and Br. *Nature*, *129*(3257), 510–510. https://doi.org/10.1038/129510a0

McCook, S., & Montero□Mora, A. (2024). Coffee breeding in a time of crisis: F_1 hybrids in Central America since 1990. *Plants, People, Planet*, *6*(5), 1070–1079. https://doi.org/10.1002/ppp3.10480

Molina, D., & Medina Rivera, R. (2022). Identifying Coffea genotypes tolerant to water deficit. *Coffee Science*, *17*, e171994. https://doi.org/10.25186/.v17i.1994

Molina, D., Moncada-Botero, M.P., Cortina-Guerrero, H. A., & Benavides, P. (2022). Searching for a Coffee variety with antibiosis effect to Hypothenemus hampei Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). *Euphytica*, *218*(7), 97. https://doi.org/10.1007/s10681-022-03047-3

Moreno, G. (2004). Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *28*(107), 187–200. https://doi.org/10.18257/raccefyn.28(107).2004.1988

Piza, M. R., Luz, S. R. O. T. D., Andrade, V. T., Figueiredo, V. C., Abrahão, J. C. D. R., Bruzi, A. T., & Botelho, C. E. (2023). Multiple Traits Selection Strategies: A Proposal for Coffee Plant Breeding. Agronomy, 13(8), 2033. https://doi.org/10.3390/agronomy13082033

Rivillas, C., Leguizamón, J., Gil, L. F., & Duque, H. (2005). Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, *19*, 1–36. https://doi.org/10.38141/10781/019

Rodrigues, C. J., Bettencourt, A. J., & Rijo, L. (1975). Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. *Annual Review of Phytopathology*, *13*(1), 49–70. https://doi.org/10.1146/annurev.py.13.090175.000405

Romero, J. V., Bustamante, L. A., Cortina, H., & Moncada, M. P. (2012). Evaluación por resistencia a Hypothenemus hampei Ferrari en poblaciones derivadas de cruces entre

Caturra e introducciones etíopes. *Revista Cenicafé*, *63*(2), 31–49. http://hdl.handle.net/10778/534

Romero, J. V., & Cortina, H. (2004). Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Curculionidae:Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Revista Cenicafé*, *55*(3), 221–231.

Sachs, J. D., Cordes, K., Rising, J., Toledano, P., & Maennling, N. (2019). Ensuring Economic Viability and Sustainability of Coffee Production. Columbia Center on Sustainable Investment.

Scalabrin, S., Toniutti, L., Di Gaspero, G., Scaglione, D., Magris, G., Vidotto, M., Pinosio, S., Cattonaro, F., Magni, F., Jurman, I., Cerutti, M., Suggi Liverani, F., Navarini, L., Del Terra, L., Pellegrino, G., Ruosi, M. R., Vitulo, N., Valle, G., Pallavicini, A., … Bertrand, B. (2020). A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. *Scientific Reports*, *10*(1), 4642. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7

Servellón, R. (1996). Estimación de parámetros genéticos y de respuestas a la selección en la población de arroz irrigado CNA 1. *Agronomía Mesoamericana*, *7*(2), 50–57. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5546862

Susi, H., & Laine, A. (2015). The effectiveness and costs of pathogen resistance strategies in a perennial plant. *Journal of Ecology*, *103*(2), 303–315. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12373

Van Der Plank, J. E. (1963). The Control of Plant Disease Studied as Part of Epidemiology. En *Plant Diseases* (pp. 1–6). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-711450-7.50004-4

Zambolim, L. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropica*l Plant Pathology, 41(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s40858-016-0065-9

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

DIRECCIÓN

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo, Ph.D.
Diana Marcela Buitrago R., Lic. Biología y Química, Administradora de Empresas, Esp.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Wílmar Antonio Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información
Jorge Alejandro Builes P., Tecnólogo en Sistemas
Luis Gonzaga Henao R.
Jeison Alexander Hoyos G., Técnico en Informática

Biometría
Rubén Darío Medina R., Estadístico, M.Sc.
Luis Carlos Imbachí Q., Estadístico
Beatriz Eugenia Mira R., Estadístico

Calidad
Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp., Ph.D.
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga, M.Sc.
Luz Fanny Echeverri G., Química Industrial
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción Agropecuaria Ecológica
Wilson Vargas L.
Víctor Manuel Castañeda G.
Angy Paola Pulgarín E., Pasante

Economía
Hugo Mauricio Salazar E., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M. Sc
Diego Fernando Arango C., Agrónomo

Entomología
Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Fáber de Los Ríos P.
José Robín García C.
Gloria Patricia Naranjo E.
Ramón Antonio Montoya C.
Juan Pablo Arboleda V., Pasante
Sergio Rodríguez A., Pasante
Nicolás González S., Pasante

Fisiología Vegetal
Tatiana María Saldaña V., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Aristófeles Ortiz, Químico, M.Sc.
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Patricia Valencia V., Técnico en Producción de Café
Jhon James Ladino Q.

Fitopatología
Marco Aurelio Cristancho A., Microbiología, Ph.D.
Rosa Lilia Ferrucho, Ing. Agrónoma, Ph.D.
Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc.
José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción Agropecuaria
Yoni Alejandro González A. Técnico Producción de Cafés Especiales
Jerson Steven Villa A.,Técnico en Agroindustria Alimentaria
Daniela Lucía Ubaque C., Pasante
Luisa Fernanda Taborda R., Pasante
Dayani Jiménez C., Aprendiz

Fitotecnia
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc, Ph.D.
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Alexander Jaramillo J.
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
Juliana Vargas L., Pasante

Mejoramiento Genético
Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Julio Quiroga C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Carlos Augusto Ramírez C., Administrador de Empresas Agropecuarias
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Juan Pablo Montoya T., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias
Steven Giraldo R., Tecnólogo en Gestión Administrativa

Diana Marcela Giraldo V.
Cristian Giovanni Samper O., Pasante
David Mauricio Guzmán J., Pasante

Poscosecha
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, M.Sc., Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc., Ph.D.
Eduardo Duque D.,Ing. Mecánico, Ph.D.
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.
Carol Vanessa Osorio V., Ing. de Alimentos*
Willy Fernando Rojas B. Ing. Agroindustrial*
Cristian Camilo Arboleda O., Biólogo
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Yennifer Ospina P., Aprendiz
Camila Buitrago Z. Pasante
María Camila Quiroz S. Pasante
Ricardo López B., Pasante
Valentina Cruz O., Agrónomo
Laura Vanessa Cano R., Ing. de Alimentos
Jorge Wilmar Zuluaga A.Técnico profesional en Mantenimiento Industrial
Juan Sebastián Rivera R.
Juan Carlos Ortiz F.
Cristian David Rendón L.
José Gilmar Carmona V.
Samuel Osbaldo López G.
Samuel Antonio Castañeda

Suelos
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Vanessa Catalina Díaz P., Química, M.Sc.
Eliana Gómez A., Tecnóloga Química
Juan Manuel Rendón R., Tecnólogo Químico
Ange Camila Rodríguez R., Pasante
Jhon Alexis Henao C., Pasante
Keylen Daniela Buitrago L., Aprendiz Universitario
Jaroliver Cardona G.

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
Alejandra Marcela Garcés G., Tecnóloga en Administración Agropecuaria
Luisa Fernanda García C., Tecnóloga en Gestión Administrativa

Estación Experimental Naranjal
Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Dayana Alejandra Rios O., Aprendiz

Estación Experimental El Rosario
León Darío Caicedo R., Agrónomo, Esp.

Estación Experimental El Tambo
Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental La Catalina
Héctor Flabio Álvarez A., Ing. Agrónomo

Estación Experimental La Trinidad
Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental Paraguaicito
Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

Estación Experimental Pueblo Bello
José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio
Carlos Roberto Ariza O., Ing. Agrónomo, Esp.

Estación Experimental Jorge Villamil
Victor Ricardo Montaño E., Ing. Agrónomo, Esp.

Divulgación y Transferencia
Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, Esp., M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñador Visual
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñador Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
Estefanía Gil M., Pasante
Valentina Marroquín A., Pasante

Tecnología de la Información y Comunicaciones
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, M.Sc
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp., M.Sc
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas, Esp.
Paula Andrea García M., Ingeniera Ambiental, Esp.
Andrés Felipe Zuleta E., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Luz Adriana Jiménez Q., Técnico profesional en Contabilidad y Finanzas
Kelly Johanna Agudelo G., Administradora de Empresas
Diana Marcela Palacio R., Abogada, Esp.
Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable
Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
Jesús Danilo González O., Contador, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.
Gestión de Bienes y Servicios–Compras y Contratación
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Lina María Giraldo, Administrador Financiero
Lina María Buitrago A., Administrador de Empresas
Santiago Benjumea V. Ing. Industrial
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios

Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Brahian Steven Narváez G., Tecnólogo en Contabilidad y Finanzas
Juan Camilo López G., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento
Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
María Alejandra López R., Ing. Mecatrónica, Esp.
Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico
José Gildardo Aguirre O., Ing. Industrial
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
Óscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial
Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café
Albert Johane Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica– Técnico en Instalaciones de Redes Internas
Luis Fernando Pérez L.,Técnico en Plantas Industriales
José Alexander Marín A., Técnico en Administración de la Producción de Café
Gustavo Andrés Araujo G.,Tecnólogo en Mantenimiento Electrónico e Instrumental Industrial
Juan Diego Pérez V., Aprendiz
Freddy Alexander Sánchez O.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Ferney Cifuentes R.

Gestión del Talento Humano
Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, Esp., M.Sc.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional, M.Sc.
Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Andrés Steven Cardona M., Aprendiz Universitario

Planeación Financiera y Presupuesto
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas, Esp.
Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas, Esp.
Carolina Herrera A., Administración de Empresas, Esp.

* Personal adscrito a la nómina variable del Comité de Huila, quienes desarrollan actividades de investigación y apoyo en los Proyectos de Regalías bajo el direccionamiento de Cenicafé.

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame.
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas.
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana.*
- Las palabras *et al., in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva.
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural.
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>: A = R x K x S x L x C x P <1>.
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura.
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas.

TABLAS Y FIGURAS

- Elabore las tablas en el formato de tabla de Word o de Excel.
- No las incluya en el documento como fotos o imágenes.
- Las cifras decimales sepárelas con una coma, no con punto.
- Las tablas deben titularse en la parte superior y al enunciarla en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Tabla 10.
- Las tablas deben crearse en blanco y negro.
- Como norma general, las figuras deben titularse en la parte inferior, y cuando enuncie la figura en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Figura 10.
- Las fotografías se deben tomar con el mayor tamaño (número de píxeles) y la mejor calidad (Fine) posibles, ya que esto asegura mejores impresiones de informes, pósteres o publicaciones.
- Las fotografías deben nombrarse con el autor y su descripción.
- Las tablas y figuras deben presentarse en archivos independientes y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n, Figura 1... Figura n, etc.).
- Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra Word.
- Las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de Excel.
- Otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG, preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi).

ECUACIONES

- Use una sola letra para denotar una variable y emplee subíndices para particularizar.
- Para las variables utilice letra itálica.
- El producto no se denota con *. Use solamente espacios.
- Las matrices y vectores se denotan con letra en negrilla e itálica.

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.

- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $m^3.s^{-1}$ y no m^3s^{-1}, que podría indicar milisegundos).
- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
    - El rendimiento en peso seco fue de 5 $g.día^{-1}$, y no 5 g de peso seco.día-1
    - Se aplicaron 25 $g.ha^{-1}$ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
    - Cada planta recibió 20 $g.ha^{-1}$ de agua, y no 20 g H_2O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/matera).
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama.
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%.
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones.

BIBLIOGRAFÍA

Antes de enviar las propuestas de publicaciones tenga en cuenta que las citas deben estar ajustadas a las normas APA.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo postulado para su publicación debe ser original o inédito, y de igual manera no puede estar postulado para su publicación en otras revistas.

Título - Máximo 16 palabras

- Que sea breve y preciso.
- Que identifique el aporte del estudio, es decir, hágalo interesante pero preciso.
- Si se incluye el nombre común o el binomial (científico) de una especie en el titulo, utilice uno de los dos pero nunca ambos.
- No prometa más de lo que va a entregar.
- Evite el uso de subtítulos.
- Evite abreviaturas, paréntesis, fórmulas, caracteres desconocidos.
- Nombre del (los) autor (es).
- Se debe incluir la profesión y demás títulos obtenidos.
- Si el autor o alguno de los autores ya no se encuentra trabajando en Cenicafé, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año).
- Proveer una versión del título en inglés.

Resumen - Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas.
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras.

- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título.

Abstract - Máximo 250 palabras

Es la versión del resumen traducida al inglés. Debe ser preparado por el autor y debe incluirse.

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

- La naturaleza del problema, de manera concisa.
- El estado del problema (revisión de literatura).
- Solo deben citarse las referencias estrictamente pertinentes.
- No debe incluir datos, ni conclusiones del trabajo.
- El propósito de la investigación.

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo. Esté seguro de no omitir información que pueda afectar la interpretación de los resultados, es decir:

- Describa las condiciones experimentales, precisa y concisamente.
- Los detalles del medio ambiente, especímenes, técnicas, materiales y equipos deben considerarse en esta sección del artículo.
- Haga énfasis en hechos que sean nuevos.
- No entre en detalle cuando se trate de métodos estandarizados de investigación.
- Use citas de literatura si son pertinentes.
- Si un método estándar ya publicado ha sido modificado, describa la naturaleza de los cambios.
- Describa los métodos en la secuencia que va a describir los resultados.
- La primera vez que mencione un nombre científico utilice el binomial con el clasificador, ejemplo: *Coffea arabica* L.; de allí en adelante sólo use el género abreviado y escriba la especie, ejemplo: *C. arabica.*
- Siempre use el tiempo pasado.
- Defina técnicamente las variables y cómo se obtienen.
- Describa el diseño experimental o soporte estadístico, de acuerdo con el tipo de investigación.
- Describa el análisis de la información.
- Describa los criterios de decisión.

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

En este capítulo se presentan los análisis y la interpretación de los datos obtenidos en la investigación, discutidos según los resultados anteriores. Como guías deben tenerse en cuenta las siguientes:

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología.
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas).
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto.
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella.
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo.
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación.

- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano.
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto.
- El mensaje central debe ser suficientemente claro.
- Indique la aplicación de los resultados.
- Interprete los resultados.
- Discuta hechos controversiales con objetividad.
- Permítale al lector seguir su línea de pensamiento.
- Identifique resultados que abran nuevas posibilidades de estudio.
- No se sienta obligado a escribir una explicación positiva para cada faceta del estudio.
- Nunca utilice “se necesita hacer más trabajo...”
- No haga discusión trivial.

Agradecimientos - Máximo 70 palabras

Con esta sección se pretende abrir un espacio lo suficientemente notable para que se tengan en cuenta las personas que con sus aportes colaboraron a guiar o desarrollar las investigaciones o a redactar y revisar el manuscrito que se somete a consideración, y que de no existir una sección como ésta, el autor en ocasiones se ve forzado a considerarlas como coautoras del artículo. Además, debe incluir la fuente de financiación de la investigación que originó el artículo, como el código de la misma.

Literatura citada

- Se deben colocar en esta Sección sólo las referencias citadas. No más de 50 citas bibliográficas.
- La literatura se debe organizar en estricto orden alfabético.
- Las referencias deben citarse en el texto utilizando las normas APA.

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López, Ing. Agrónomo, Esp., M.Sc.

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve, Diseñadora Visual

Fotografías: Archivo Cenicafé

Para canjes con esta publicación dirigirse a:
Centro de Documentación
Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé
Manizales - Caldas - Colombia
Biblioteca.Cenicafe@cafedecolombia.com

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org

La Revista Cenicafé se encuentra indizada y referenciada
en Google Académico.