

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 74 Número 1

Enero - Junio 2023





**Federación Nacional de  
Cafeteros de Colombia**

**COMITÉ NACIONAL**

**Ministro de Hacienda y Crédito Público**  
Ricardo Bonilla González

**Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**  
Jhenifer Mojica Flórez

**Ministro de Comercio, Industria y Turismo**  
Germán Umaña Mendoza

**Director del Departamento Nacional de Planeación**  
Jorge Iván González

**Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros**  
Marcela Urueña Gómez

**Representantes Gremiales**

**Período 1º 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 Administrativo y Financiero**

Juan Camilo Becerra Botero

**Gerente Comercial**

Juan Camilo Ramos Mejía

**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.cenicafe74-1>

Editada en junio de 2023

Tel: 606 + 8500707 - A.A.: 2427 Manizales

E-mail: [cenicafe@cafedecolombia.com](mailto:cenicafe@cafedecolombia.com)

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)

# Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 74

ENERO - JUNIO 2023

No. 1

## CONTENIDO

<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RETENCIÓN DE PASES Y EMPLEO DE LONAS EN LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ.</b> Juan Carlos Gómez Soto .....	7
<b>ECONOMIC ANALYSIS OF CHERRY RETENTION AND THE USE OF TARPS IN COFFEE HARVESTING</b> .....	7
<b>ARVENSES Y SU IMPORTANCIA EN EL SOSTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD DE INSECTOS VISITANTES FLORALES DEL CAFÉ.</b> Juan Diego Maldonado Cepeda; Jesús Hernando Gómez Llano; Pablo Benavides Machado; Luis Eduardo Escobar; Zulma Nancy Gil Palacio .....	25
<b>WEEDS AND THEIR IMPORTANCE IN SUSTAINING THE DIVERSITY OF FLORAL VISITING INSECTS IN COFFEE CROPS</b> .....	25
<b>CONTAMINACIÓN DE OPERARIOS CON EQUIPOS DE ASPERSIÓN DURANTE APLICACIONES PARA EL CONTROL DE LA BROCA DEL CAFÉ.</b> Aníbal Arcila Moreno; Diógenes Alberto Villalba-Gault; Esther Cecilia Montoya Restrepo; Pablo Benavides Machado .....	39
<b>OPERATOR CONTAMINATION WITH SPRAYING EQUIPMENT DURING APPLICATIONS TO CONTROL COFFEE BERRY BORER</b> .....	39
<b>DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DEL CAFÉ TOSTADO POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS).</b> Claudia Rocío Gómez Parra; Claudia Patricia Gallego Agudelo; Luz Fanny Echeverri Giraldo; Jenny Pabón Usaquén; Aristófeles Ortiz; Valentina Osorio Pérez ...	51
<b>DETERMINATION OF CHEMICAL COMPOUNDS OF ROASTED COFFEE BY NEAR INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS)</b> .....	51
<b>EFEECTO DE LA RENOVACIÓN POR ZOCA Y PODAS EN LA BIOMASA DE RAÍCES DE CAFÉ.</b> José Raúl Rendón Sáenz; Ángela María Grajales; Hugo Mauricio Salazar Echeverry .....	70
<b>EFFECT OF RENEWAL BY STUMPING AND PRUNING ON COFFEE ROOT BIOMASS</b> .....	70
<b>EFEECTO DE LOS DEPREDADORES <i>Cathartus quadricollis</i> Y <i>Ahasverus advena</i> (COLEOPTERA: SILVANIDAE) SOBRE <i>Hypothenemus hampei</i> EN EL CAMPO.</b> Luis Miguel Constantino Chuaire; Pablo Benavides Machado .....	83
<b>EFFECT OF THE PREDATORS <i>Cathartus quadricollis</i> AND <i>Ahasverus advena</i> (COLEOPTERA: SILVANIDAE) ON <i>Hypothenemus hampei</i> IN THE FIELD</b> .....	83
<b>INFLUENCIA DEL PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ NATURAL EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO Y LA CALIDAD SENSORIAL.</b> Claudia Patricia Gallego Agudelo; Luis Carlos Imbachí Quinchua; Valentina Osorio Pérez .....	94
<b>INFLUENCE OF NATURAL COFFEE DRYING PROCESS ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SENSORY QUALITY OF BEANS</b> .....	94

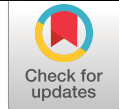
## COMITÉ EDITORIAL

Pablo Benavides M.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Carmenza Esther Góngora B.	Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
José Ricardo Acuña Z.	Ph.D. Biólogo. Fisiología, Cenicafé
Diana María Molina V.	Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Luis Fernando Salazar G.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

# ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RETENCIÓN DE PASES Y EMPLEO DE LONAS EN LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ

Juan Carlos Gómez Soto \*

Gómez-Soto, J. (2023). Análisis económico de la retención de pases y el empleo de lonas en la recolección de café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74101. <https://doi.org/10.38141/10778/74101>



En un contexto comercial, se evaluó el impacto económico de la retención de pases en combinación con la recolección con lonas, en El Tambo (Cauca), Chinchiná (Caldas) y Pueblo Bello (Cesar), en los cuales pudo recolectarse de forma asistida el 60,5%, 39,5% y 84,8% del flujo de café anual, respectivamente, logrando un incremento de la productividad de la mano de obra del 19,0%, 43,8% y 20,7%, con excedentes para el caficultor frente al costo incurrido en recolección convencional de 3,96%, 4,80%, y 6,71% y reducciones de 10,7%, 12,7% y 23,6% de los jornales requeridos por hectárea al año, respectivamente. El recolector en el punto de iso-excedentes crematísticos percibió ingresos adicionales frente al jornal estándar del 7,79%, 38,5%, 9,84% y 9,55% para El Tambo, Chinchiná travesía, Chinchiná cosecha y Pueblo Bello, respectivamente. La carga, oferta de frutos cosechables y la tecnología de lonas, fueron las variables que explicaron los efectos económicos del cambio técnico. Con las mejoras en la planificación de retención de pases, adecuación de lotes para empleo de lonas y la capacitación de los operarios que incrementase a un 75% el café cosechado al año con lonas y un aumento de la productividad de la mano de obra del 45%, se lograría un excedente del 10% para el caficultor por hectárea al año, lo cual es factible en el corto y mediano plazo, según las condiciones propias de cada región.

**Palabras clave:** Cosecha asistida, eficiencia, tecnología, café, Cenicafé.

## ECONOMIC ANALYSIS OF CHERRY RETENTION AND THE USE OF TARP IN COFFEE HARVESTING

In a commercial context, the economic impact of cherry retention combined with the use of tarps in coffee harvesting was evaluated in El Tambo (Cauca), Chinchiná (Caldas), and Pueblo Bello (Cesar). In these locations, assisted harvesting allowed for the collection of 60.5%, 39.5%, and 84.8% of the annual coffee flow, respectively. This resulted in a labor productivity increase of 19.0%, 43.8%, and 20.7%, with surplus for the coffee grower compared to the cost incurred in conventional harvesting of 3.96%, 4.80%, and 6.71%, and a reduction of 10.7%, 12.7%, and 23.6% in the required daily wages per hectare per year, respectively. The picker at the point of isocrematistic surplus perceived additional income compared to the standard daily wage of 7.79%, 38.5%, 9.84%, and 9.55% for El Tambo, Chinchiná mid-harvest, Chinchiná main harvest, and Pueblo Bello, respectively. Load, harvestable fruit supply, and tarp technology were the variables that explained the economic effects of the technical change. By improving the planning of cherry retention, adapting plots for the use of tarps, and providing training to workers to increase coffee harvested with tarps by 75% per year and increase labor productivity by 45%, a surplus of 10% per hectare per year could be achieved for the coffee grower. This is feasible in the short and medium term, depending on the specific conditions of each region.

**Keywords:** Assisted harvesting, efficiency, technology, coffee, Cenicafé.

\* Investigador Científico II. Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-9270-0538>



La recolección es la actividad con mayor participación en la estructura de costos de producción de café, demandando entre el 40% y el 55% (Duque Orrego et al., 2021) y determina la rentabilidad de las fincas cafeteras, junto con otros factores como el precio de café y la productividad. La eficiencia de la recolección está signada por **factores ambientales** que determinan la carga y oferta de café al momento de cosecha (Tavares et al., 2019), por **factores agronómicos** como la densidad, edad, variedad y manejo agronómico, así como por **factores del propio recolector** de carácter antropométrico, cultural y motivacional como sistema de pago y condiciones de trabajo (Cunha et al., 2016; Duque Orrego et al., 2021).

En cuanto al **método de recolección**, Cenicafé ha demostrado que la eficiencia de un jornal puede incrementarse entre un 40% y 45% al emplear la tecnología de combinación de lonas con pases retenidos (Álvarez-V et al., 2004; Sanz et al., 2018), como cambio técnico frente a la recolección convencional sin retención y con canastos.

La diferencia en la eficiencia de ambas condiciones se explica básicamente por tres hechos, según lo investigado por Sanz et al. (2018) y Santinato et al. (2013):

1. El incremento de la proporción de frutos maduros (oferta cosechable) y el aumento de la carga disponible de frutos cosechables en el árbol; ambas condiciones como resultado de la retención de pases.
2. El incremento de la eficiencia por la cosecha con lonas, al evitar una serie de micro-movimientos relacionados con la retención de café en la mano de los recolectores, que compensan la adición de macro-movimientos como colocación de lonas y el posterior acopio del café que ha sido desprendido sobre ellas.

La cosecha asistida con lonas debe entenderse como una práctica donde se realiza retención de pases para aumentar la oferta y la carga de café maduro y sobremaduro que se combina con la metodología de lonas y permiten desprender directamente el café cereza sobre las mismas (Sanz et al., 2018), como se muestra en la Figura 1; los mejores resultados se obtienen cuando la oferta, la carga y la cosecha sobre lonas actúan de manera sinérgica, no obstante, en algunas condiciones pueden trabajar de forma independiente y representar beneficios para el caficultor. El tiempo máximo de retención de pases depende de la distribución de las floraciones de cada región cafetera.

El valor de la recolección representa, por un lado, el costo en el que incurre el caficultor por la actividad y es igual, al menos desde el punto de vista monetario, al precio que establece el recolector por la labor al destajo o por obra, que para el caso es la unidad de peso o volumen de café recolectado, siendo la de uso más frecuente en Colombia, kilogramos de café cereza.

Pueden estimarse los beneficios para los actores económicos de un cambio técnico por medio de ecuaciones econométricas, para lo cual es útil el concepto de punto de iso-excedentes (Bergin, 2015; Pemberton & Rau, 2016; Rosser, 2016), el cual señala el valor de equilibrio crematístico, es decir, solo de carácter monetario, que haría más proclive la adopción de una práctica, puesto que habría beneficios monetarios similares, en este caso es el excedente obtenido por la reducción del costo anual incurrido en la recolección por parte del caficultor y el excedente por mayor ingreso en las jornadas en cosecha asistida para el recolector.

Como paradigma económico se establece que con un cambio técnico como el generado



por la cosecha asistida logra incrementarse la productividad de la mano de obra del operario (Srivastava et al., 2006) y, por lo tanto, hay un desplazamiento de la curva de oferta del recolector de pendiente positiva y un desplazamiento de la curva de la demanda del caficultor, que es de marginalidad negativa, cuando ambas se representan en un plano cartesiano en el eje X la cantidad y en el eje Y el precio, se obtiene una mayor cantidad de café como se detalla en la Figura 2, con el paso de Q1 a Q2 con precios similares al del equilibrio de mercado, o de forma análoga,

una cantidad similar a la ofertada en el punto de equilibrio inicial a un menor precio, que se reduce de P1 a P2.

De forma ilustrativa se tiene que, si un recolector recibe un pago de \$500 por kilogramo esto le representa un ingreso de \$50.000 por jornada al destajo (con un promedio de 100 kg recolectados) en el punto de equilibrio inicial; ahora bien, con un aumento del 10% de la eficiencia, recolectando con lonas (pasando a 110 kg por jornada), el recolector obtendría el mismo

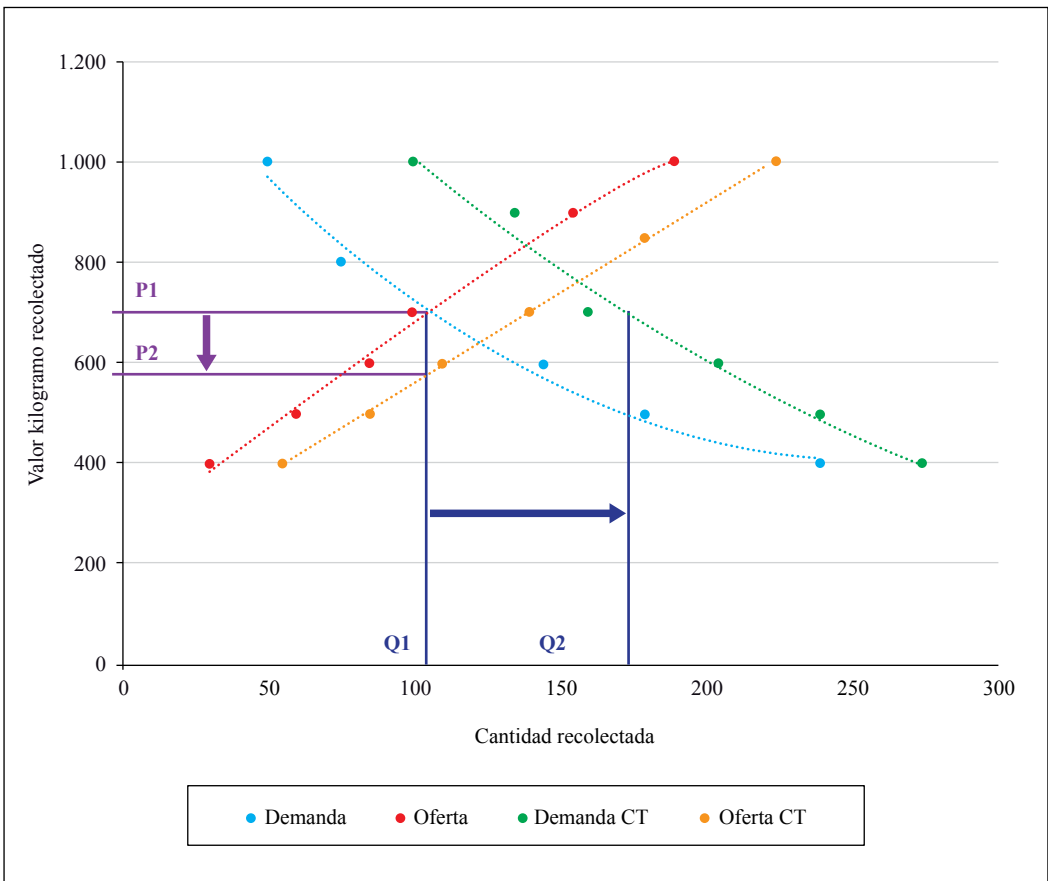


**Figura 1.** Cosecha asistida con lonas, Pueblo Bello (Cesar), 2021.

ingreso con un isocosto del 90,9% del valor inicial, esto es, un valor por kilogramo de \$455. Sin embargo, en este caso el recolector no tendría beneficios por el cambio técnico (\$455 por kg x 110 kg/día = \$50.000), por lo tanto, la recolección con lonas no sería cautivante para el mismo, pues para los actores económicos la adopción depende de su costo de oportunidad.

A su vez, desde la óptica del caficultor, este incurre en unos costos adicionales por empleo de lonas, representado en compra, mantenimiento y

almacenamiento, teniendo en cuenta que requiere disponer, a partir de los datos obtenidos en tres estaciones experimentales de Cenicafé, de dos lonas (un par) para productividades hasta de 1.875 kg al año; cuatro lonas (dos pares) desde 1.875 kg y hasta 3.750 kg y seis lonas (tres pares), para productividades superiores a las 3.750 kg, si pagase a \$455 el kilogramo recolectado tampoco le traería réditos económicos, puesto que el costo de la tecnología superaría la reducción en el valor pagado por kilogramo si la cantidad recolectada al año es baja.



**Figura 2.** Desplazamientos esperados en la oferta y demanda por cambio técnico en la recolección asistida (simulación).

Dado lo anterior, debe hallarse un valor de referencia de iso-excedente crematístico que transfiera prosperidad para ambos actores, de tal modo que, a partir de la disminución del costo variable por kilogramo cosechado, el recolector y el caficultor tengan iguales beneficios monetarios acumulativos, soportados en que se pueda concentrar una cantidad de café representativa del flujo anual en la recolección asistida, y que a su vez, la carga, oferta y empleo de lonas permitan un incremento de la eficiencia que sobrepase los costos de la tecnología y que reconozcan una distribución del remanente entre caficultor y recolector.

Este estudio plantea determinar los beneficios económicos para el caficultor y el recolector cuando emplean la combinación de retención de pases y la cosecha con lonas de café cereza frente al sistema convencional de recolección de café que se efectúa sin retención y con canastos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el año 2021 y fue de tipo descriptivo. Se efectuó el análisis económico del cambio técnico del sistema de “cosecha asistida”, que combina la retención de pases y empleo de lonas, frente a la “cosecha convencional” o sistema tradicional de recolección sin retención y empleo de canastos a escala comercial (de tiempos normalizados).

El estudio se realizó en tres estaciones de Cenicafé: Pueblo Bello (César), El Tambo (Cauca) y Naranjal (Caldas); al integrar las tres estaciones al estudio se presentaron condiciones contrastantes de pendiente y distribución de cosecha, debido a que el tema de pendiente es recurrente en las inquietudes de caficultores en cuanto al empleo de lonas.

La Estación El Tambo está ubicada en las coordenadas 2°20'30.2" de latitud Norte y 76°29'49.8" de longitud Oeste, sobre la cordillera Central vertiente Occidental, a una altitud de 1.735 m, con un número de eventos florales durante el año, que suele ser del orden de 20 (Rendón & Montoya, 2015), sin embargo, sólo cuatro representan más del 50% de floración y estos se reflejan en una cosecha concentrada en el primer semestre del año.

La Estación Naranjal se encuentra ubicada en Chinchiná, en las coordenadas geográficas 04°59' de latitud Norte, 75°39' de longitud Oeste, altitud de 1.400 m, temperatura media anual de 20,8°C y 2.656 mm de precipitación anual. Cerca del 25% del flujo anual se recolecta en el primer semestre y un 75% en el segundo semestre, con 21 eventos florales (Rendón & Montoya, 2015).

La estación de Pueblo Bello (Cesar) se ubica a una latitud de 10°25'N, longitud 73°34'W, altitud de 1.134 m, temperatura media de 20,9°C, 2.388 horas de brillo solar y 2.029 mm de precipitación anual, con un déficit marcado de lluvias de diciembre a marzo, que determinan una cosecha unimodal en el segundo semestre del año, a partir de tres eventos florales (Rendón & Montoya, 2015). Para esta Estación Experimental el área en estudio tuvo un tamaño 0,93 hectáreas, mientras que el área en café comercial de la estación es del orden de 18 ha, dado el establecimiento de árboles de sombrío en la calle de los cafetales, lo cual a futuro determina un trazo de estos árboles acorde a la expectativa de adopción de la recolección asistida, de igual modo en este primer año de adopción no se emplearon lonas en terrenos con alta pedregosidad, con el fin de ajustar las actividades administrativas a futuro.

La programación de los pases se dio según el pronóstico de flujo de cosecha realizado por las Disciplinas de Fitotecnia y Experimentación de Cenicafé, con prolongación de los pases de cosecha esperada de 28 a 35 días; sin embargo, de acuerdo al objetivo inicial de concentrar la cosecha sin alta presencia de granos secos e infestados por broca, esta podría recibir ajustes de duración, de acuerdo con las pautas administrativas de cada Coordinador de la Estación Experimental.

Los resultados económicos fueron obtenidos para la totalidad de trabajadores en los lotes cosechados con lonas y canastos, no obstante, a fin de profundizar en el conocimiento de los tiempos y las variables del estudio, se trabajaron al menos tres jornadas por pares de operarios, en cada pase de cosecha.

Las variables de interés fueron:

- Rendimiento o productividad de la mano de obra ( $\text{kg h}^{-1}$ ), cuyo indicador fue la eficiencia.
- Oferta cosechable (porcentaje cosechable), medido como la proporción de frutos maduros y sobremaduros por planta.
- Carga cosechable ( $\text{g/planta}$ ) cosechada efectivamente por cada pase.

La carga y la oferta tuvieron dos ángulos de observación; primero, si la carga y la oferta entre la cosecha retenida y la no retenida tuvo variación estadística, es decir, si tuvo éxito la práctica de retener pases en aumentar la cantidad y concentración de café maduro y sobremaduro en el árbol (bajo las pruebas F y t), y el segundo, si la carga o la oferta explicaron de manera consistente la productividad de la mano de obra, la cual era la principal variable de interés económico del estudio y de la cual se espera una pendiente positiva en la dispersión de datos.

Como variables complementarias se tuvieron:

- Frutos maduros dejados en el árbol (unidades/sitio y gramos/sitio), cuyo indicador fue la eficacia.
- Frutos caídos al suelo (unidades/sitio y gramos/sitio), cuyo indicador fueron las pérdidas.
- Contenido de frutos verdes en la masa cosechada (porcentaje en masa), cuyo indicador fue la calidad.
- Nivel de broca (%), como variable de control de la duración de retención.
- Conversión de cereza a pergamino.
- Factor de rendimiento (café pergamino a excelso).
- Costo de recolección del café al destajo o por producido.
- Tiempos brutos por actividad y tiempo estándar discriminado por cada actividad dentro del proceso de recolección con canastos y lonas, con la Metodología OIT (Kanawaty & International Labour Office, 1992).
- Concentración de cosecha por cada pase, en relación al flujo anual.

Para El Tambo se evaluó el período de cosecha entre el 6 de abril y el 11 de junio, demandando cinco pases de recolección convencional y tres pases en lotes de cosecha asistida, de los cuales dos fueron realizados con lonas. La travesía en Chinchiná se evaluó entre marzo y junio, en siete pases de recolección no retenida y cuatro pases retenidos, de los cuales se dieron entre uno y dos pases con

lonas, dada la condición particular del lote a cosechar. La cosecha principal para la Estación Naranjal en Chinchiná, se evaluó entre el 12 de agosto y el 20 de octubre, en cuyo lapso se realizaron cinco pases en recolección convencional, mientras que los pases con asistencia de lonas y retención se dieron en tres ocasiones y para Pueblo Bello del 20 de noviembre al 10 de enero.

El análisis económico se centró en el valor de recolección teniendo en cuenta el análisis incremental o diferencial de ingresos y egresos. Las ecuaciones econométricas se construyeron al contemplar el rango de resultados factibles considerando una recolección con lonas que cubre desde un 10% del total del café anual y hasta un 100%, ambos extremos de condiciones particulares del comportamiento de la concentración de cosecha en las tres estaciones del estudio y al combinarlo con el incremento factible que se logró por los operarios recolectores, englobando también una amplia gama de aumentos de la productividad que iban desde 10% al 100%.

A partir de los registros hallados en las tres estaciones, se determinó cual era el beneficio de los dos actores económicos (caficultor y recolector) en el punto de iso-excedentes, al distraer previamente el costo de la tecnología dado por mantenimiento, reparaciones y depreciación (proxy de inversión en capital) de las lonas y zaranda de campo empleadas.

El costo o precio unitario equi-marginal por el cambio técnico indicó el valor por kilogramo de recolección en el punto de iso-excedentes que refleja el “principio de máxima satisfacción”, conjunta por los actores económicos involucrados desde una perspectiva monetaria; para el caso de esta investigación reflejó la proporción del valor estándar por kilogramo en la región de interés, que para elucidar el concepto se presentó asociado con

un rendimiento estándar aceptado del orden de 100 kg de café cereza por día (Duque Orrego & Dussan L., 2005; Federación Nacional de Cafeteros, 2017).

Es de anotar que los valores de la recolección para iso-excedentes crematísticos son un valor de referencia de negociación de carácter netamente monetario, pues el valor comercial concertado de recolección, si bien será cercano al de iso-excedentes también depende de la escasez relativa de la mano de obra, las condiciones agronómicas y administrativas de la región, la finca e incluso de cada lote en particular, como es el caso de la dificultad y tiempo demandado en el transporte de café cereza a punto de recibo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto de la carga, oferta y método de lonas en la eficiencia

Para el estudio se determinó que son tres los factores principales que pueden influir en la cantidad de café recolectado con cosecha asistida; uno es la **carga disponible** (la cual se incrementa con la retención de pases), la **oferta de fruto maduro**, la cual también se ve incrementada con la retención y, por último, por la misma **cosecha con lonas**, la que evita ciertos micro-movimientos que cubren el tiempo adicional empleado por distribuir y cosechar con las lonas.

Al analizar la diferencia entre retener pases y no retenerlos, en cuanto a la carga cosechable, si bien hubo un incremento considerable por el bajo número de observaciones y una alta desviación típica, no hubo suficiente evidencia estadística para sugerir diferencias significativas, de acuerdo a la prueba t al 5% de significancia, al pasar de 246 g (n=31, desviación=168) a 323 g (n=18, desviación=256); pero aisladamente, al ajustar el efecto de la carga con la eficiencia

por medio de funciones lineales y no lineales, se presentó la condición de que a mayor carga existe mayor eficiencia en tres de los cuatro sitios evaluados (Tabla 1).

Se presentó una menor carga a lo largo de todos los pases frente a lo histórico debido a efectos agregados climáticos; por ejemplo, en Pueblo Bello lo que recurrentemente se realiza con cuatro pases fue recolectado en cinco pases de recolección convencional y tres de recolección asistida, ofreciendo un amplio rango de variación de carga y, por ende, de heterocedasticidad (errores no constantes).

En cuanto a la **oferta cosechable**, tanto en recolección convencional como retenida en relación a la eficiencia, los resultados hallados en El Tambo ofrecen un bajo coeficiente de determinación (Tabla 2), lo cual implica la necesidad de nutrir la información de dicha estación con resultados de años venideros y

lograr una función predictor de mejor ajuste en dichas condiciones.

Las condiciones climáticas en el año 2021 (ENOS-La Niña débil) definieron un comportamiento atípico de la concentración de oferta de frutos maduros y sobremaduros impactando en consecuencia en la eficiencia (Tabla 2). Sanz et al. (2018) encontraron que a los 17 días de retener el pase se presentaba un 7,75% de oferta que aumentaba a 43,56% al llegar a los 35 días, siendo entonces un valor base de oferta de al menos un 40% en las ramas, para observar los beneficios tangibles de esta variable sobre la eficiencia; sin embargo, en el caso de la travesía de Naranjal para el año 2021, la oferta a los 17 días era del orden del 14% y el incremento al llevarla a los 35 días sólo alcanzó el 26,7%, evidenciando que la cosecha asistida debe ser objetivo de un seguimiento en el campo de los cambios en carga, oferta y broca, entre

**Tabla 1.** Cambios en la carga (g/planta) debidos a la retención y efecto sobre la eficiencia, año 2021.

Sitio	Sin retención de pases Promedio y C.V (%)	Con retención de pases Promedio y C.V (%)	Diferencia entre medias P dos colas (T >= t), a 10%	Relación de la carga (X) sobre la eficiencia (Y) en kg/jornal y R <sup>2</sup>
El Tambo	68,2 (32,9%)	114,5 (65,4%)	0,40621 No Significativa	$Y = -0,0007 X^2 + 0,3985X + 38,847$ $R^2 = 0,6285^*$
Naranjal cosecha	389,7 (31,4%)	414,2 (38,4%)	0,7237 No significativa	$Y = 0,0929X + 74,192$ $R^2 = 0,0648$
Naranjal travesía	201,1 (77,0%)	344,3 (110,6%)	0,4103 No significativa	$Y = 0,0003 X^2 - 0,0678X + 82,079$ $R^2 = 0,8543^*$
Pueblo Bello	245,0 (6,4%)	306,2 (5,7%)	0,6424 No significativa	$Y = 0,1537X + 27,512$ $R^2 = 0,9862^*$

\* Alto coeficiente de determinación (condiciones comerciales).

otros, para tomar decisiones con menor nivel de riesgo, pues en el caso de la oferta para la travesía dada la alta cantidad de frutos verdes presente y que sería recolectado en la cosecha del segundo semestre, el parámetro de oferta no ascendería más allá del 25% con la retención, como se observa en las Figura 3 y Figura 4.

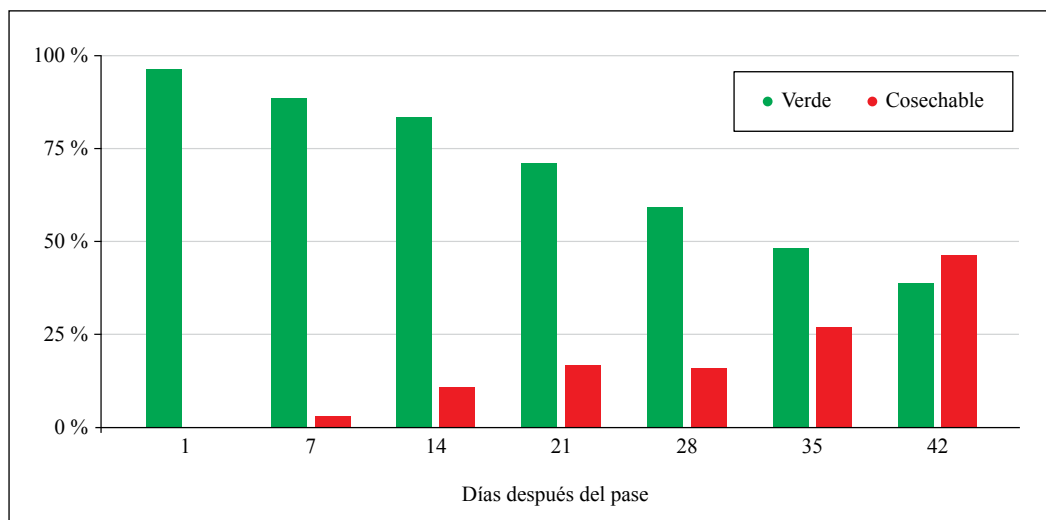
La magnitud del coeficiente de determinación para expresar el efecto de la oferta sobre la eficiencia en los cuatro lugares (Tabla 2), señala en principio que en regiones donde la cosecha está distribuida a lo largo de un alto número de pases en el año, no tenga el mismo peso explicativo sobre la eficiencia, que sí lo podría tener en regiones de cosecha más concentrada.

Para Pueblo Bello no se encontró validez deducible de los resultados a pesar de un  $R^2$  de 0,5125; pues la expresión tenía un primer tramo con pendiente negativa, de modo que el incremento de la eficiencia en Pueblo Bello, para el año 2021, se debió a los otros dos factores explicativos como son el método de cosecha y carga disponible.

En cuanto al **método de lonas** para el caso de El Tambo y Naranjal Cosecha, al considerar como contraste hipotético entre medias el valor de 20 kg como aumento de la eficiencia, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias, y se determinó que para las condiciones dadas la mano de obra tenía mayor productividad con la cosecha asistida con lonas, según prueba t al 5%.



**Figura 3.** Oferta cosechable a los 1, 14 y 28 días después del pase, Naranjal (Chinchiná, Caldas), mayo a junio año 2021.



**Figura 4.** Cambios en la proporción de frutos verdes y cosechables después del pase de recolección durante la travesía del año 2021 en la Estación Naranjal.

**Tabla 2.** Cambios en la oferta (proporción frutos cosechables en la planta, %) debidos a la retención y efecto sobre la eficiencia, año 2021.

Sitio	Sin retención de pases Promedio y C.V (%)	Con retención de pases Promedio y C.V (%)	Diferencia entre medias P dos colas ( $T \geq t$ ), a 10%	Relación de la oferta cosechable en % (X) sobre la eficiencia (Y) en kg/jornal y $R^2$
El Tambo	28,8 (39,8%)	34,9 (50,4%)	0,5719 No Significativa	$y = -90,651X^2 + 87,032X + 50,313$ $R^2 = 0,079$
Naranjal cosecha	18,0 (35,2%)	26,5 (41,7%)	0,0668 Significativa	$y = 323,14X + 42,846$ $R^2 = 0,3746$
Naranjal travesía	8,7 (59,5 %)	9,1 (47,7%)	0,8707 No significativa	$y = -7253,5X^2 + 2046,2X - 8,4113$ $R^2 = 0,1608$
Pueblo Bello	32,3 (60,5 %)	58,1 (13,9 %)	0,1886 No significativa	$y = 516,25X^2 - 400,58X + 140,22$ $R^2 = 0,5125^*$

\* Alto coeficiente de determinación (condiciones comerciales).



Al considerar los cuatro lugares se da el caso de que pueden ser la carga, la oferta o el método de lonas los que tengan cambios significativos entre recolección convencional y retenida; el escenario ideal a corto y mediano plazo es el de las tres variables con efectos positivos.

Dado de que en al menos una de las tres variables explicativas (carga, oferta y método de lonas) hubo efecto de la cosecha asistida sobre la eficiencia, se procedió a realizar un análisis económico, caso contrario no tendría cabida un análisis de carácter económico.

### **Factor de rendimiento**

Los resultados de la evaluación de factor de rendimiento, en todos los casos, permitieron obtener café de calidad por debajo de los 92,8 de factor, de usanza comercial, para el cual se fija el precio del café en Colombia y que se reconoce como el valor de café de calidad estándar necesario para la exportación, no obstante, aparte del adecuado manejo agronómico de los lotes, para que el factor de rendimiento fuese el esperado en la cosecha asistida, el caficultor siguió los siguientes criterios en su gestión administrativa:

1. La eficacia de la recolección debe ser alta, garantizando que no queden más de cinco frutos en el árbol después del pase, esto implica que a mayor carga mayor eficacia exigida.
2. Si el nivel de broca es del 2% debe procederse a recolectar y no prolongar la retención.
3. La adecuada programación de la duración de la retención y el criterio de que el café seco en el árbol sea menor de 1,5% (Sanz et al., 2018), determinan que el caficultor vaya afinando el momento de pase, incluso

a nivel de cada lote: el lapso entre pases retenidos va a fluctuar entre los 27 y 35 días en la geografía nacional, es así como valores mayores de café seco en el árbol se reflejarán en un factor de rendimiento castigado de modo comercial, a manera de ejemplo, para el caso de El Tambo, en la cosecha del 2021 estos límites de seco estuvieron en 2,3% de fruto seco en el árbol y 2,8% en la masa cosechada, cuando la recolección se efectuó con un intervalo de 31 días, marcando que se debe ajustar la duración de la retención bajo las condiciones particulares que se hallen en su momento.

Dada la similitud en ambas condiciones, cosecha asistida y no asistida, frente a las pérdidas, calidad, eficacia y factor de rendimiento, no se realizó un análisis económico diferencial sobre las variables complementarias descritas en la metodología. El costo de recolección del café al destajo o por producido fue tomado directamente de las condiciones comerciales en cada región. Los niveles de broca se manejaron con valores menores del 2% y no se observó diferencia estadística entre los lotes con cosecha asistida y no asistida.

Los tiempos de recolección con lonas se presentan en la Figura 5, tiempo esperado para cada actividad usando un promedio con distribución de probabilidad beta a partir de los datos obtenidos a nivel de campo, con las observaciones de que el café se recibía y pesaba en el acceso al lote (posterior transporte del café cereza en vehículo).

### **Beneficios para el caficultor**

En El Tambo, en el año 2021, se logró cosechar el 60,56% del total anual de café con lonas, valores que son propios de las condiciones de recolección concentrada en

esta región del país, hubo un aumento de la eficiencia del 19,03%; con una productividad media anual de 2.500 kg de café pergamino y un precio de recolección promedio de \$500, alcanzando beneficios de 3,96% anual (error 0,74) según la Ecuación <1> (Tabla 3), siguiendo la metodología descrita de iso-excedentes, representando en un menor egreso o costo para el caficultor y un mayor ingreso o primal económico para el recolector.

En la Estación Naranjal en Chinchiná, con una productividad media anual de 3.750 kg, los beneficios para el caficultor al emplear dos pares de lonas cuando el valor de recolección promedio es de \$700 por kilogramo (travesía año 2021), se presentan en la Ecuación <2> y son de 2,08% (error 0,12), mientras que la cosecha dado el aumento de oferta y carga en la región tuvo un valor de \$650, esta reducción determinó que la función de utilidad cambiase a la Ecuación <3> y obtener beneficios de 2,67% (error 0,64). En Pueblo Bello el valor representativo fue de \$650, 1.500 kg productividad media anual, se emplearon un par de lonas por hectárea, y pudo establecerse la Ecuación <4> con excedentes para el caficultor de 6,71 % (error 0,47).

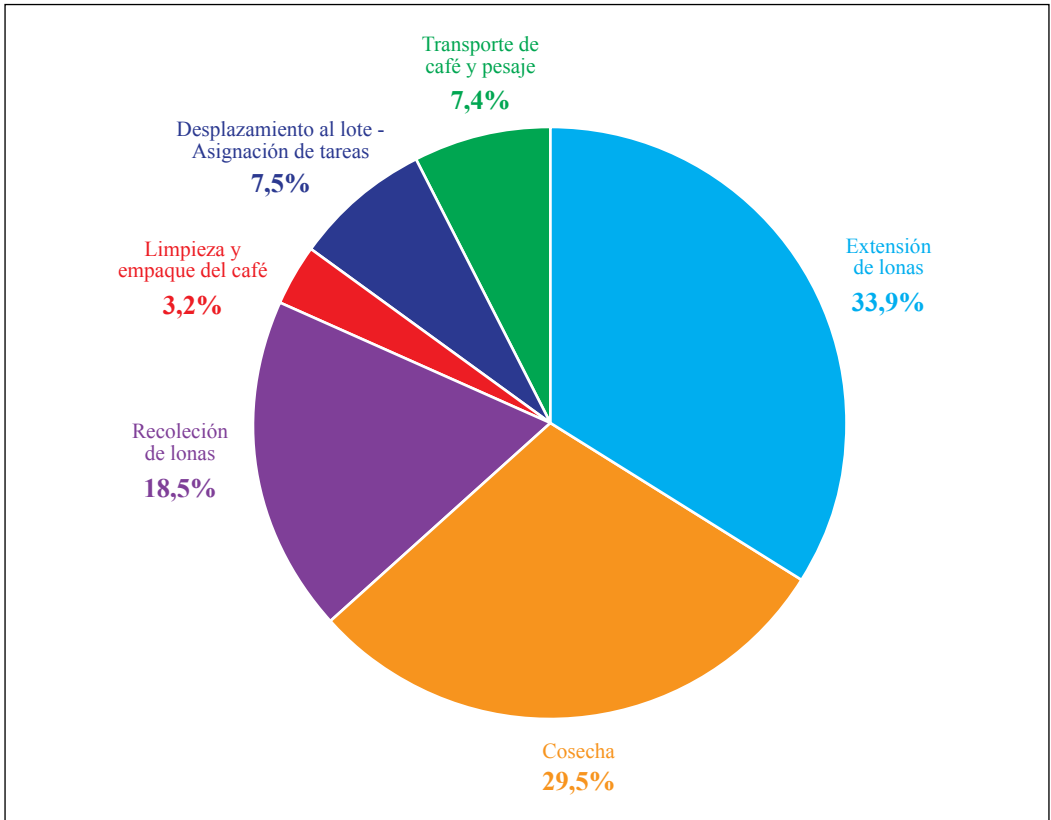
El aporte a los beneficios para el caficultor dadas las ecuaciones obtenidas, lo otorga en cerca del 60% la tarea administrativa de concentrar la cosecha en pases asistidos, es decir, que la planificación de cosecha juega un rol determinante en el éxito de la actividad, mientras que cerca 40% del excedente lo aporta el aumento de la productividad de la mano de obra del recolector.

Para productividades superiores a 3.750 kg la cantidad estimada de lonas es de dos pares con día pico, de hasta 2,5% del total producido anual, aunque puede presentarse el caso de empleo de tres pares por hectárea,

bajo criterio administrativo; no obstante, se sugiere realizar a futuro un análisis de modelo de espera o colas, en diferentes contextos, que determine cuál sería el número ideal de lonas por hectárea en altas productividades.

En el caso de Chinchiná, debido a las dudas del recolector sobre los beneficios de la práctica, el caficultor decidió pagar un valor superior en \$50 por kilogramo recolectado con lonas frente al precio con recolección estándar, esto puede ocurrir en un primer pase para demostrar al recolector que la práctica sí le va a permitir cosechar mayor cantidad de café; una vez el incremento ha sido evidente para el recolector, el caficultor para obtener los beneficios acá planteados deberá detraer este costo extra del primer pase en los demás pases con cosecha de manera proporcional y planificada.

La Figura 6 representa los beneficios alcanzados en el 2021 con la recolección asistida en Naranjal (Chinchiná) en el punto A (4,75% del eje Z), el desplazamiento hacia la derecha en el eje X ocasionado por mejoras en la planificación de los pases y el desplazamiento a la izquierda en el eje Y por progresos en la eficiencia del recolector señalan las oportunidades de progreso futuro, pues ambos conllevan a incrementos del eje Z, por ende, de los beneficios en la adopción tecnológica. Por ejemplo, los obtenidos en el 2021 fueron de 4,75% (eje Z), es posible a corto plazo alcanzar el punto B si el recolector aumenta eficiencia y el caficultor planifica mejor los pases (llegando al 12,7% del eje Z), en este caso concentrando el 80% con cosecha asistida (eje X) y un incremento del 45% de la eficiencia (eje Y); esta misma perspectiva de avance a futuro plantea a mediano plazo en el punto C (26,6% del eje Z) con los valores proyectados del eje X y Y alcanzando el punto C.



**Figura 5.** Tiempos esperados en la recolección con lonas utilizando una distribución de probabilidad beta de los datos obtenidos.

**Tabla 3.** Excedente neto por hectárea al año para el caficultor como porcentaje del costo deducido en la recolección.

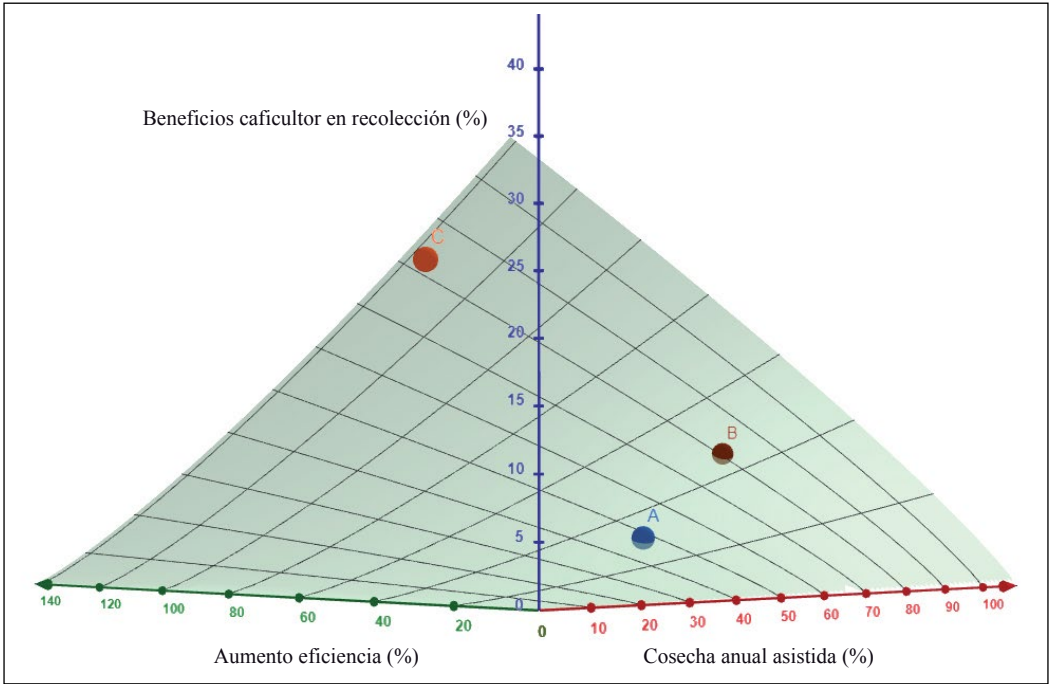
$Y_{caf\ Tambo} = 0,00072X_1^{1,328} X_2^{1,002}$	$R^2: 0,923$	<b>Ecuación &lt;1&gt;</b>
$Y_{caf\ ChinchTrav} = 0,00217X_1^{1,188} X_2^{0,886}$	$R^2: 0,953$	<b>Ecuación &lt;2&gt;</b>
$Y_{caf\ ChinchCose} = 0,00111X_1^{1,273} X_2^{0,968}$	$R^2: 0,861$	<b>Ecuación &lt;3&gt;</b>
$Y_{caf\ P\ Bello} = 0,00246X_1^{1,1458} X_2^{0,8596}$	$R^2: 0,861$	<b>Ecuación &lt;4&gt;</b>

**Donde:**

Y: excedente neto por hectárea al año para el caficultor como porcentaje del costo deducido en la recolección, con lonas depreciadas a diez años.

X<sub>1</sub>: porcentaje del café anual recolectado con lonas.

X<sub>2</sub>: porcentaje de aumento del rendimiento de la mano de obra con el empleo de lonas.



**Figura 6.** Función multivariante obtenida y representación en el plano 3D de beneficios previstos para el caficultor dado el avance en la adopción del cambio técnico por cosecha asistida con lonas en Naranjal (Chinchiná). Eje X: proporción del café anual recolectado con lonas (%), Eje Y: aumento del rendimiento de la mano de obra o eficiencia con el empleo de lonas (%), Eje Z: excedente neto del caficultor (%), como reducción de costos de la recolección por hectárea al año.

### Beneficios para el recolector

Las Ecuaciones <5>, <6>, <7> y <8> (Tabla 4) reflejan el crecimiento del valor del jornal en porcentaje, a partir de la concentración de pases con lonas y el aumento logrado por el recolector en la productividad de la recolección al destajo en El Tambo, travesía en Chinchiná, cosecha en Chinchiná y en Pueblo Bello, respectivamente.

Para el caso de El Tambo el valor del jornal en recolección para el operario recolector tuvo un aumento de 7,79% (error: 1,3), de modo que un jornal estándar de \$50.000 en época de cosecha se convierte en \$53.895. El recolector en promedio para la travesía

en Chinchiná estaba recibiendo un jornal de \$70.000 y se incrementó en un 38,59% (error: 3,94), es decir, que por cada jornada en recolección con lonas su ingreso pasó a ser de \$97.013 con un valor por kilogramo de \$503, equivalente al 71,9% del valor estándar en recolección convencional y que permitía la distribución equitativa de los excedentes netos entre caficultor y recolector por \$546.645 generados con la adopción del cambio técnico.

Para la cosecha en Chinchiná en el punto de iso-excedentes se logra un jornal de 9,84% (error: 2,11) por encima del estándar, lo cual significó pasar de \$65.000 a \$71.396, con costo por kilogramo de 580 pesos, es decir,

el 89,3% del precio estándar para la región durante la época. En Pueblo Bello en la cosecha del año 2021, a partir del costo de \$650 (promedio ponderado) por kilogramo, se logra un incremento del pago por jornal del 9,55% (error: 0,47).

Se observa que para el recolector su propia productividad aporta el 80% del incremento (elasticidad parcial) y es mayor que el peso del factor concentración del café anual recolectado con lonas (que aporta el 20% del aumento), por lo tanto, aquellos recolectores denominados coloquialmente como “canastos” o “bombas” tendrán un estímulo adicional en la adopción tecnológica una vez hayan cumplido la curva de aprendizaje.

En todas las ecuaciones presentadas se hallan economías crecientes de escala, pues a un incremento de los factores técnicos de formación corresponde un aumento más que proporcional del producido (Y), tanto para el caficultor como para el recolector.

### Reducción de jornales requeridos

Al considerar la Tabla 5 el recolector en El Tambo en el 56,3% de los jornales tuvo ingresos adicionales (del 7,79% ya mencionado en cada jornal) y de manera complementaria, el caficultor gracias al delta en eficiencia terminó requiriendo 10,7% de menos jornales por hectárea al año, al pasar de 125 a 113 jornales (Tabla 5).

**Tabla 4.** Excedente por jornal en recolección, como porcentaje frente al valor estándar.

$Y_{RecTambo} = 0,0391X_1^{0,3309} X_2^{1,2700}$	$R^2: 0,898$	<b>Ecuación &lt;5&gt;</b>
$Y_{RecChinchTravi} = 0,1204X_1^{0,188} X_2^{1,152}$	$R^2: 0,935$	<b>Ecuación &lt;6&gt;</b>
$Y_{RecChinchiCose} = 0,0616X_1^{0,273} X_2^{1,234}$	$R^2: 0,803$	<b>Ecuación &lt;7&gt;</b>
$Y_{RecP Bello} = 0,1334X_1^{0,1807} X_2^{1,1280}$	$R^2: 0,983$	<b>Ecuación &lt;8&gt;</b>

### Donde:

Y: excedente por jornal en recolección como porcentaje frente al valor estándar.

X<sub>1</sub>: porcentaje del café anual recolectado con lonas.

X<sub>2</sub>: porcentaje de aumento del rendimiento de la mano de obra con el empleo de lonas.

**Tabla 5.** Beneficios globales para el recolector y jornales empleados en el año 2021 al implementar la recolección asistida con lonas en El Tambo (Cauca).

Método	Proporción anual	Delta eficiencia	Beneficio recolector *	Café cereza recolectado (kg ha <sup>-1</sup> )	Jornales/ha	Proporción jornales
<b>Recolección asistida</b>	60,56%	19,03%	7,79%	7.570	64	56,3%
<b>No asistida</b>	39,44%	0		4.930	49	43,7%

\* Por jornal.

Para el consolidado anual en Chinchiná (Tabla 6), la demanda de jornales se redujo en 12,7% pasando de 187,5 a 166 jornales/ha.

En Pueblo Bello, el caficultor demandó 64 jornales en lugar de 75, es decir, un 17,0% menos, lo cual contribuye, como ocurrió en los demás lugares, a nivelar necesidades de mano de obra para la época de cosecha (Tabla 7).

### Valor de la recolección con lonas en punto de iso-excedentes

Una vez descontados los costos del caficultor en equipos y aperos para la recolección con lonas y su mantenimiento, el precio sobre el cual se logra que ambos actores económicos tuviesen similares excedentes se obtienen con las Ecuaciones <9>, <10>.

**Tabla 6.** Beneficios globales para el recolector y jornales empleados en el año 2021 al implementar la recolección asistida con lonas en Chinchiná (Caldas).

Método/ época	Proporción anual	Delta eficiencia	Beneficio recolector *	Café cereza recolectado (kg ha <sup>-1</sup> ) **	Jornales/ ha	Proporción jornales
<b>Travesía asistida</b>	10,4%	92,7%	38,59%	1.950	10	6,1%
<b>Cosecha asistida</b>	33,4%	23,0%	9,84%	6.263	51	30,6%
<b>Total</b>	<b>43,8%</b>	<b>39,5%</b>	<b>16,67%</b>	<b>18.750</b>	<b>166</b>	<b>36,7%</b>
<b>No asistida</b>	56,2%	0		10.538	105	63,3%

\* Ponderado, \*\* por jornal.

**Tabla 7.** Beneficios globales para el recolector y jornales empleados en el año 2021 al implementar la recolección asistida con lonas en Pueblo Bello (Cesar), año 2021.

Método	Proporción anual	Delta eficiencia	Beneficio recolector *	Café cereza recolectado (kg ha <sup>-1</sup> )	Jornales/ ha	Proporción jornales
<b>Cosecha asistida</b>	84,80%	20,70%	9,55%	6.360	53	82,2%
<b>No asistida</b>	15,20%	0		1.140	11	17,8%

\* Por jornal.

<11> y <12> (Tabla 8) para El Tambo, Chinchiná traviesa, Chinchiná cosecha y Pueblo Bello, respectivamente.

Al reemplazar los valores hallados en el 2021 en El Tambo el *Yvlr* es el 90,6% (error: 1,29) del precio convencional en la región, de este modo, aunque se paga un valor menor por kilogramo, en este caso \$453, el recolector y el caficultor obtienen los beneficios ya expresados.

Para Chinchiná traviesa se estableció el valor de iso-excedentes en un 71,9% (error: 1,97) del precio estándar, es decir, pagando a \$503 por kilogramo el recolector. Para el caso de que el caficultor trabajase con tres pares de lonas por hectárea en lugar de dos, el valor de iso-excedentes es de 69,9%, es decir, 14 pesos menos por el empleo del par de lonas adicionales, y en el hipotético caso de que el caficultor solo tuviese incremento por cambios de la oferta y carga (sin lonas), el valor sería de 75,9% en iso-excedentes, esto deriva en que el caficultor por el empleo de las dos lonas tuvo un costo directo \$28 por kilogramo recolectado (un par de lonas) o de \$42 en el caso de emplear tres pares.

El punto de iso-excedentes monetarios para la época de cosecha, año 2021, en Chinchiná, se presenta con 89,3% (error: 0,81) del valor estándar de \$650, es decir, con \$580. Para el caso de Pueblo Bello se obtuvo con el 88,1% del precio de referencia regional de \$650, es decir, con \$573.

El valor de marras de las ecuaciones presentadas se constituye en un punto de partida para fijar el valor comercial que también considera el nivel de esfuerzo en cada lote, el buen trato, la facilidad en la movilización y traslado de la carga, entre otros; sin embargo, este valor comercial pactado y el valor de iso-excedentes necesariamente deben ser cercanos para que la adopción sea viable por ambas partes.

El logro consolidado del cambio técnico de recolección asistida puede dimensionarse mejor al compararlo, por ejemplo, con la fertilización que cubre el 16% del costo de producción (Duque Orrego et al., 2021), lo cual significa que el caficultor puede liberar un flujo considerable de recursos para cruzar frente a incrementos coyunturales de precios de insumos u obtener este excedente como beneficios directos anuales del cultivo.

**Tabla 8.** Valor frente al precio estándar regional con el cual se logra que ambos actores económicos tengan iso-excedentes.

$Y_{RecP\ Bello} = 89,77 - 0,0626X_1 - 0,2239 X_2$	$R^2: 0,936$	<b>Ecuación &lt;9&gt;</b>
$Y_{RecChinchTrav} = 90,04 + 0,0597X_1 - 0,2237 X_2$	$R^2: 0,939$	<b>Ecuación &lt;10&gt;</b>
$Y_{RecChinchTrav} = 92,47 + 0,0334X_1 - 0,2217 X_2$	$R^2: 0,960$	<b>Ecuación &lt;11&gt;</b>
$Y_{RecChinchTrav} = 91,69 + 0,0417X_1 - 0,2218 X_2$	$R^2: 0,983$	<b>Ecuación &lt;12&gt;</b>

**Donde:**

*Yvlr*: valor por kilogramo en el punto de iso-excedentes para ambos actores económicos como porcentaje del valor de recolección convencional.

$X_1$ : porcentaje del café anual recolectado con lonas.

$X_2$ : porcentaje de aumento del rendimiento de la mano de obra con el empleo de lonas.

Los beneficios fueron evidenciados en tres lugares de condiciones climáticas, topográficas y agronómicas contrastantes y corresponden al primer año de adopción de la tecnología, es previsible progresos en años venideros, con ajustes de la planificación, tanto de la retención como de la administración de la cosecha, adecuaciones agronómicas de los lotes, caminos y reconocimiento para ambos actores económicos (recolector y caficultor), por los beneficios de incremento de la eficiencia.

## AGRADECIMIENTOS






El autor expresa su agradecimiento a los coordinadores de Estaciones Experimentales de Cenicafe John Félix Trejos, Hernán Darío Menza y José Enrique Baute, y al personal de las Estaciones de Naranjal, Pueblo Bello y El Tambo por el trabajo de campo. Así mismo agradece a Luis Carlos Imbachí por su asesoría en la investigación. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Crossref Funder ID 100019597, proyecto número ECO102007.

## LITERATURA CITADA

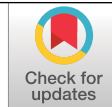
- Álvarez, J. A., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2004). Evaluación de dos sistemas para el manejo de mallas en la cosecha manual del café. *Revista Cenicafe*, 55(2), 130–135. <http://hdl.handle.net/10778/110>
- Bergin, J. (2015). *Mathematics for economists with applications* (First edition). Routledge, Taylor & Francis Group.
- Cunha, J., Da Silva, F., Almeida, R., Fernandes, C., & Almeida, T. (2016). Viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita do café. *Coffee Science*, 11(3), 417-426.
- Duque Orrego, H., & Dussán L., C. (2005). *Productividad de la mano de obra en la cosecha de café en cuatro municipios de la región cafetera central de Caldas*. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/256>
- Duque Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2017). La recolección de café en Colombia: Una caracterización del mercado laboral. *Ensayos sobre economía cafetera*, 32(1), 35-65. <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/ECC32.pdf>
- Kanawaty, G., & International Labour Office (Eds.). (1992). *Introduction to work study* (4th (rev.) ed). International Labour Office.
- Pemberton, M., & Rau, N. (2016). *Mathematics for economists: An introductory textbook* (4a ed.). Manchester University Press.
- Rendón, J. R., & Montoya, E. C. (2015). ¿Cómo registrar las floraciones en los cafetales? *Avances Técnicos Cenicafe*, 455, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0455>
- Rosser, M. J. (2016). *Basic mathematics for economists* (3a ed.). Routledge, Taylor & Francis Group.
- Santinato, F., Silva, R. P., Ruas, R. A., Cassia, M. T., & Santinato, R. (2013). Comparação entre o custo da colheita manual e mecanizada de uma a seis passadas da colhedora. En Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador), *Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/7304>
- Sanz, J. R., Duque Orrego, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha manual de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 487, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0487>
- Sanz, J. R., Oliveros-Tascón, C. E., Duque Orrego, H., Mejía, C. G., Benavides Machado, P., & Medina-Rivera, R. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 488, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>
- Srivastava, A., Goering, C., Rohrbach, R., & Buckmaster, D. (Eds.). (2006). *Engineering principles of agricultural machines* (2a ed.). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Tavares, T. D. O., Oliveira, B. R., Silva, V. D. A., Silva, R., Santos, A. F., & Okida, E. S. (2019). The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas. *PLOS ONE*, 14(5), e0217286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217286>



# ARVENSES Y SU IMPORTANCIA EN EL SOSTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD DE INSECTOS VISITANTES FLORALES DEL CAFÉ

Juan Diego Maldonado Cepeda \*, Jesús Hernando Gómez Llano \*, Pablo Benavides Machado \*\*,  
Luis Eduardo Escobar \*, Zulma Nancy Gil Palacio \*\*\*

Maldonado-Cepeda, J., Gómez-Llano, J., Benavides Machado, P., Escobar, L. E., & Gil-Palacio, Z. (2023). Arvenses y su importancia en el sostenimiento de la diversidad de insectos visitantes florales del café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74102. <https://doi.org/10.38141/10778/74102>



En esta investigación se evaluó la importancia que tienen las arvenses en el sostenimiento de la diversidad de insectos que visitan las flores de café. Se seleccionaron dos parcelas con manejo integrado de arvenses (MIA) y dos con manejo excesivo (MEA). En cada parcela se recolectaron y registraron los insectos visitantes de las flores de café en 30 árboles, en intervalos de ocho minutos por árbol, en tres horarios durante un día. Los muestreos se realizaron en dos eventos de floración por año, durante dos años, para un total de 192 horas de observaciones. Por parcela se identificaron los insectos y se estimaron abundancia, riqueza y diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$ . Estos valores fueron comparados mediante una prueba de diferencia mínima significativa al 5%. En las parcelas MIA se trazaron tres transectos y se recolectaron los insectos visitantes de las arvenses, con igual frecuencia y forma que en el muestreo anterior, durante los periodos sin floración del café. En las flores del café de las parcelas MIA se registraron 2.347 individuos y 163 especies, en las parcelas MEA se recolectaron 2.543 individuos y 162 especies; en las arvenses se registraron 735 individuos y 171 especies. La riqueza, abundancia y valores de diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$  fueron estadísticamente iguales entre las parcelas. Las arvenses *Bidens pilosa*, *Commelina difusa*, *Emilia sonchifolia*, *Hyptis atrorubens* y *Galinsoga parviflora*, fueron las más visitadas por los insectos. Los resultados muestran una alta diversidad de especies de insectos visitantes florales, tanto en el cultivo del café como en las arvenses.

**Palabras clave:** Abejas, *Bidens pilosa*, biodiversidad, *Coffea arabica*, café de Colombia, flores, Cenicafé.

## WEEDS AND THEIR IMPORTANCE IN SUSTAINING THE DIVERSITY OF FLORAL VISITING INSECTS IN COFFEE CROPS

The objective of this research was to evaluate the importance of weeds in sustaining the diversity of insects that visit coffee flowers. For this purpose, two plots under integrated weed management (IWM) and two plots under excessive weed management (EWM) were selected. In each plot, insects visiting coffee flowers were collected and recorded on 30 trees at eight-minute intervals per tree, at three different times during one day. All samplings were conducted during two flowering events per year, over the course of two years, resulting in a total of 192 hours of observations. Subsequently, the insects were identified for each plot, and abundance, richness, and diversity were estimated for the orders  $q=1$  and  $q=2$ . These values were compared using a least significant difference test at 5% significance level. Additionally, in the IWM plots, three transects were established, and insects visiting the weeds were collected using the same frequency and method as in the previous sampling, during periods when the coffee was not flowering. A total of 2,347 individuals and 163 species were recorded in the coffee flowers of the IWM plots, while 2,543 individuals and 162 species were collected in the EWM plots. In the weeds, 735 individuals and 171 species were recorded. The richness, abundance, and diversity values for the orders  $q=1$  and  $q=2$  were statistically similar between the plots. The weeds *Bidens pilosa*, *Commelina difusa*, *Emilia sonchifolia*, *Hyptis atrorubens*, and *Galinsoga parviflora* were the most visited by insects. The results of this study demonstrate a high diversity of floral visiting insect species in both the coffee crop and the weeds.

**Keywords:** Bees, *Bidens pilosa*, biodiversity, *Coffea arabica*, Colombian Coffee, flowers, Cenicafé.

\* Asistente de Investigación. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas. <https://orcid.org/0000-0003-1641-8391>, <https://orcid.org/0000-0003-4335-9518>, <https://orcid.org/0000-0003-3793-5486>

\*\* Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

\*\*\* Investigador Científico II. Disciplina de Entomología, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-7013-1231>



Se ha encontrado que las flores del cultivo de café son aprovechadas por numerosas especies de abejas y otros insectos (Ngo et al., 2011); sin embargo, los cortos y escasos periodos de floración anual de este cultivo pueden no ser suficientes para satisfacer las necesidades alimenticias de estos insectos (Cepeda et al., 2014). Por lo tanto, la estructura agroecológica no solo del cultivo del café sino de otros cultivos cobra importancia, dado que los corredores y parches de plantas silvestres dentro de un sistema productivo, en ausencia de flores del café, ayudan a mantener las poblaciones de abejas y otros insectos benéficos y se convierten en un recurso alimenticio alternativo (Girón, 1995; Cepeda et al., 2014). Dada la importancia de los insectos, particularmente los polinizadores, depredadores y parasitoides en el cultivo del café *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) es necesario tomar en cuenta los factores que influyen sobre estos (Ngo et al., 2011).

Dentro la estructura agroecológica, las arvenses son importantes porque ayudan a la prevención de la erosión del suelo y el reciclaje de nutrientes, así mismo contribuyen a conservar la diversidad de especies que las utilizan como fuente alterna de alimentación, refugio y nidificación, y por consiguiente, son reservorio de diversos grupos de insectos, entre ellos, organismos benéficos para el control general de plagas (Arévalo et al., 2021); sin embargo, el manejo inadecuado puede interferir con la producción de los cultivos (Salazar & Hincapié, 2020). Para reducir los efectos negativos de las arvenses sobre los sistemas de cultivo se desarrolló la estrategia de manejo integrado, la cual consiste en la combinación oportuna y adecuada de diferentes prácticas como el manejo mecánico, químico, manual y cultural, a niveles que no afecten el rendimiento del cultivo (Torres & Salazar, 2020).

Diferentes estudios han documentado la importancia que tienen las arvenses en la abundancia y riqueza de especies de insectos dentro de un cultivo. Por ejemplo, en Costa Rica, Flórez et al. (2002) estudiaron la riqueza y abundancia de abejas en fincas cafeteras, las cuales tenían otras especies de plantas y estaban rodeadas por bosque, encontrando que, tanto la abundancia de bosque en el paisaje circundantes a los cafetales como la vegetación interna de las fincas, favorecieron la riqueza de abejas. Posteriormente, Silva et al. (2003) estudiaron en México los cambios en la riqueza y abundancia relativa de distintos grupos de insectos asociados al cultivo de maíz, con tres manejos diferentes de arvenses y encontraron que la presencia de estas, contribuyó a conservar la diversidad de insectos, especialmente depredadores presentes en el cultivo de maíz. Por otra parte, en Colombia, en el municipio de Salgar (Antioquia), Girón (1995) analizó los tipos polínicos presentes en muestras de miel y carga de polen recolectada por *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera: Apidae). Este autor identificó 91 tipos polínicos distribuidos en la carga de polen y de miel, de los cuales el café *C. arabica* fue el tipo más frecuente, con 34,8%, mientras que especies de las familias Asteraceae, Leguminosae, Poaceae, Euphorbiaceae y Rubiaceae se comportaron como un recurso alimenticio alternativo y son importantes para el sostenimiento de la comunidad de las abejas en épocas donde no existe floración de fuentes de alimento primario. Más tarde, Arévalo et al. (2021) estudiaron el potencial de las arvenses como alimento y refugio de enemigos naturales en el café de sombra, los resultados de este estudio mostraron que las arvenses albergan una diversidad de enemigos naturales importante en los agroecosistemas cafeteros colombianos. Los estudios anteriores demuestran que la

diversidad de arvenses en los agroecosistemas puede influir positivamente en la diversidad de insectos, particularmente de las abejas.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario realizar estudios que permitan conocer si las arvenses ayudan al sostenimiento de la entomofauna en los ecosistemas cafeteros. Así, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la importancia que tienen las arvenses en el sostenimiento de la diversidad de insectos que visitan las flores de café, bajo la hipótesis, que las parcelas con manejo integrado de arvenses presentan mayor diversidad de insectos visitantes florales del cultivo del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este estudio se realizó en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas), a 1.381 m de altitud, temperatura media anual de 21,6°C, ecotopo cafetero 206A, con coordenadas de 4°58'02"N y 75°39'56"W, y en la Estación Experimental La Catalina ubicada en el municipio de Pereira (Risaralda), a 1.321 m de altitud, temperatura media anual de 22°C, ecotopo cafetero 218A, con coordenadas 4°44'58"N y 75°44'20"W. En ambos sitios, las floraciones entre enero y marzo originan el 75% de la cosecha principal y las de agosto y septiembre el 25% de la cosecha de mitaca; predomina el cultivo del café intercalado con plátano y cítricos.

### Metodología

Para conocer la participación que tienen las arvenses en el sostenimiento de la diversidad de insectos que visitan las flores del café, se realizaron dos actividades: a. Registro de los insectos visitantes florales del café en parcelas con manejo integrado de arvenses (MIA) y

manejo excesivo de arvenses (MEA) y b. Registro de los insectos visitantes florales de las arvenses en las parcelas con MIA.

### Registro de los insectos visitantes florales del café en parcelas con manejo integrado de arvenses (MIA) y en parcelas con manejo excesivo de arvenses (MEA)

Las evaluaciones se realizaron entre los años 2019 y 2021 en las floraciones de cosecha principal y mitaca. En cada sitio de estudio se seleccionaron dos parcelas de *Coffea arabica* variedad Castillo<sup>®</sup>, a libre exposición, con edades entre dos y tres años, separadas entre sí por una distancia de cuatro metros. Aleatoriamente, en una de ellas, se asignó el manejo integrado de arvenses (MIA) siguiendo la metodología desarrollada en Cenicafé por Hincapié & Salazar (2007), el cual consiste en: a) control cultural, cubrimiento del suelo con cobertura muerta; b) plateo del cultivo; c) control manual de las arvenses agresivas y de difícil manejo con métodos mecánicos y químicos; d) control mecánico con guadaña, con corte a una altura de 5 cm del suelo; e) parcheo con selector sobre las arvenses agresivas después del control mecánico. En la otra parcela, dos semanas antes de cada floración del café para cosecha principal y mitaca, se realizó el manejo excesivo (MEA), el cual consistió en la eliminación de la totalidad de las arvenses mediante control químico, de ser necesario en ese intervalo de tiempo se repetía la aplicación para asegurar que el suelo estuviera libre de arvenses antes de la floración del café.

Posteriormente, en cada parcela se seleccionaron aleatoriamente 30 plantas de café y durante un día de floración, dos observadores recolectaron con aspirador bucal y jama entomológica todos los insectos que llegaron a las flores del café en los horarios de 7:00-9:30, 10:30-13:00 y 14:00-16:30, en

intervalos de ocho minutos por cada planta; en cada horario se evaluaron las 30 plantas seleccionadas. El criterio para seleccionar los horarios de muestreo, fue el de tratar de abarcar el mayor tiempo de exposición de los insectos a la luz solar, momento en el cual hay mayor actividad. Por cada parcela se realizaron cuatro evaluaciones, con un esfuerzo de muestreo de 12 horas por evaluación, para un total de 192 horas de observaciones. En el caso de la especie *A. mellifera*, no se realizaron capturas dada su abundancia; la identificación y cuantificación se realizó en el campo. En cada sitio y en cada parcela se registró el número de especies e insectos totales como indicadores de la diversidad.

### **Registro de los insectos visitantes florales de las arvenses en las parcelas con MIA**

Adicionalmente, en las parcelas con manejo integrado de arvenses se trazaron tres transectos a lo largo, ancho y centro de la parcela, de 2 m de ancho x 2,30 m de largo. En estos transectos, en los períodos donde no se presentó floración del café, durante un día, en los horarios de 7:00-9:30, 10:30-13:00 y 14:00-16:30 horas, dos observadores recolectaron con jama los insectos visitantes de las arvenses, conjuntamente se identificó la arvense, con base en el libro ilustrado “Arvenses frecuentes en el cultivo del café en Colombia” (Salazar-Gutiérrez, 2021). Se evaluaron dos parcelas, en cada una se realizaron cuatro evaluaciones con un esfuerzo de muestreo de 15 horas por parcela y evaluación, para un total de 120 horas de observaciones. En cada parcela se registró el número de insectos totales y especies, así como la especie de arvense visitada. Con los datos se construyó una matriz de abundancias entre especies de arvenses y especies de visitantes florales del café.

Los insectos capturados en las parcelas MIA, MEA y arvenses, se depositaron y

rotularon en viales de vidrio, con etanol al 76%, se trasladaron al laboratorio de la disciplina de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé, y se identificaron bajo un estereomicroscopio marca Nikon SMZ 1500, siguiendo las claves taxonómicas presentadas en Engel (2000), Borrór et al. (1989), Fernández & Sharkey (2006), Michener (2007).

### **Análisis de datos**

La diversidad de los insectos visitantes florales del cultivo del café fue analizada a nivel de toda la comunidad de insectos y entre las dos condiciones de manejo de arvenses. Se consideraron indicadores de diversidad verdadera (números Hills) e indicadores de diversidad beta como Sorensen cuantitativo y Morisita-Horn.

1. Por cada parcela se realizó un análisis descriptivo en cuanto a la riqueza (número de especies) y abundancia (número de individuos).
2. Se estimaron los valores de la diversidad verdadera del orden  $q = 1$ , donde todas las especies fueron incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad (Hill, 1973; Jost, 2006, 2007) y la de orden  $q = 2$ , donde se tomaron en cuenta las especies comunes (Jost 2006, 2007). Los índices fueron estimados utilizando los paquetes estadísticos iNEXT (Hsieh et al., 2016) y SpadeR (Chao et al., 2016) para R (R Core Team, 2021).
3. Con las variables riqueza, abundancia y los valores de diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$ , se estimó el promedio y el error estándar por parcela y evaluación, independientemente del sitio; se realizó un análisis de varianza de una sola vía y se compararon los promedios de cada parcela, con la prueba de diferencia

mínima significativa al 5%. Los análisis fueron realizados usando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4 (SAS Institute, 2020).

4. Se comparó la comunidad de insectos visitantes florales del cultivo del café entre las dos condiciones de manejo de las arvenses, esto se hizo con el índice de similitud de Sorensen cuantitativo, el cual relaciona la abundancia de las especies compartidas con la abundancia total en las dos muestras y el índice de Morisita-Horn, que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar, cada uno de un sitio o grupo diferente sean de la misma especie.
5. Con la matriz de abundancias de los insectos visitantes florales de las arvenses y las especies de arvenses visitadas en las parcelas MIA, se construyó una red de interacciones y se obtuvieron las métricas: La **conectancia (C)**, es la proporción de interacciones registradas del total de interacciones posibles, los valores cercanos a uno indican una óptima conectancia; el **índice H2'**, el cual mide la especialización a nivel de red, tiene un rango que va de 0 (sin especialización) a 1 (completamente especializada); **anidamiento ponderado**, este índice se interpreta como la asimetría en la especialización de la red, es decir, la relación de los especialistas (especies con pocos enlaces) con los generalistas (especies con muchos enlaces) en la red. Los valores oscilan entre 0 y 100, valores altos se traducen en alto anidamiento y valores bajos en poco anidamiento; el grado de **robustez de la red (R)**, el cual mide la capacidad de resiliencia frente a eventos de extinción de especies, esta medida tiene un rango entre 0 y 1, donde valores más cercanos a 1 corresponden a un decrecimiento más lento tras la eliminación de especies, mientras

valores más cercanos a 0 representan una red que colapsa más rápido con las especies removidas; **simetría o asimetría en la especialización**, el valor de esta medida oscila entre -1 y 1, valores negativos indican que las especies más especialistas se relacionan con las más generalistas y valores positivos indican que las especies con similares grados de generalidad se conectan entre sí.

6. A nivel de especie se estimó el descriptor **fuerza de la especie**, se define como la suma de las dependencias de los insectos a una planta específica, o la suma de las dependencias de las plantas a un insecto específico. La fuerza de la especie representa una medida de la importancia cuantitativa de una especie para el otro conjunto. Por criterio de los autores, se consideraron las especies que presenten un valor del índice superior a 4,0.

Las métricas y las gráficas de la red de interacciones se construyeron con el paquete bipartite de R (Dormann et al., 2008).

## RESULTADOS

### **Registro de los insectos visitantes florales del café en parcelas con manejo integrado de arvenses (MIA) y en parcelas con manejo excesivo de arvenses (MEA)**

En total se registraron 4.890 individuos, distribuidos en 247 especies, 54 familias y seis órdenes (Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Neuroptera) (Tablas 1 y 2).

En las parcelas con manejo integrado de arvenses se registraron 2.347 individuos de 163 especies de los órdenes Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera y Lepidoptera. Hymenoptera presentó el mayor número de

especies (69) y de individuos (2.095), siendo *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1825) y *Ectatomma ruidum* (Roger, 1860), las más abundantes, seguidos del orden Diptera que presentó una riqueza muy similar con 62 especies, pero menor abundancia con 159 individuos; en este orden, *Ornidia obesa* (Fabricius, 1775) fue la más abundante (Tabla 1).

En las parcelas con manejo excesivo de arvenses se registraron 2.543 individuos y

162 especies de los órdenes Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Neuroptera. Al igual que en las parcelas MIA, Hymenoptera presentó el mayor número de individuos con 2.309 y de especies con 55, entre las más abundantes fueron *Apis mellifera*, *Tetragonisca angustula* y *Solenopsis* sp.1, seguido del orden Diptera, donde las especies más abundantes fueron *Ornidia obesa* y *Milichiidae* sp.3. Las abundancias de los demás órdenes fueron inferiores a 70 individuos (Tabla 2).

**Tabla 1.** Riqueza y abundancia de la comunidad de insectos en las parcelas con manejo integrado de arvenses. Se muestra el número de especies e individuos totales, así como la cantidad de individuos de las especies más abundantes.

Tipo de manejo	Orden	Riqueza	Abundancia	Especies abundantes	Nº individuos	
Manejo integrado de arvenses (MIA)	Hymenoptera	69	2.095	<i>Apis mellifera</i>	1.250	
				<i>Tetragonisca angustula</i>	210	
				<i>Ectatomma ruidum</i>	65	
	Diptera	62	159	<i>Ornidia obesa</i>	17	
				<i>Milichiidae</i> sp.3	13	
				Coleoptera	23	78
				Hemiptera	6	12
Lepidoptera	3	3				

**Tabla 2.** Riqueza y abundancia de la comunidad de insectos en las parcelas con manejo excesivo de arvenses. Se muestra el número de especies e individuos totales, así como la cantidad de individuos de las especies más abundantes.

Tipo de manejo	Orden	Riqueza	Abundancia	Especies abundantes	Nº individuos
Manejo excesivo de arvenses (MEA)	Hymenoptera	55	2.309	<i>Apis mellifera</i>	1.502
				<i>Tetragonisca angustula</i>	175
				<i>Solenopsis</i> sp.1	181
	Diptera	77	161	<i>Milichiidae</i> sp.3	11
				<i>Ornidia obesa</i>	9
	Coleoptera	25	68		
	Hemiptera	3	3		
Lepidoptera	1	1			
Neuroptera	1	1			

El análisis de diferencias mínimas significativas mostró que, estadísticamente la riqueza, la abundancia y los valores de diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$  entre las parcelas con MIA y MEA son iguales (Tabla 3), por lo tanto, se rechaza la hipótesis propuesta en este estudio.

El índice de Similitud de Sorensen cuantitativo mostró que las parcelas MIA y MEA comparten el 48% de las especies registradas, es decir, son comunes entre los dos tipos de parcelas (Tabla 4). Mientras que el índice de similitud de Morisita-Horn, indicó que existe un 98% de probabilidad que al tomar en el mismo momento un individuo

en MEA y otro en MIA, estos pertenezcan a la misma especie (Tabla 4).

### Registro de los insectos visitantes florales de las arvenses en las parcelas con MIA

En las arvenses se recolectaron 735 individuos distribuidos en 171 especies, 42 familias y cinco órdenes (Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Hemiptera y Lepidoptera). Diptera presentó el mayor número de individuos (380) y especies (63), de las cuales, 20 pertenecen a Syrphidae con 264 individuos, dentro de esta familia las especies del género *Toxomerus* fueron las más abundantes, le sigue en abundancia y riqueza, Hymenoptera con 235 individuos y

**Tabla 3.** Promedio ( $\pm$  error estándar) de la riqueza, la abundancia y la diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$ , para las parcelas con manejo integrado y manejo excesivo de arvenses.

Parcela	Abundancia		Riqueza (S)		<sup>1</sup> D ( $q=1$ )		<sup>2</sup> D ( $q=2$ )	
	Media $\pm$ E.E.*	Grupo	Media $\pm$ E.E.*	Grupo	Media $\pm$ E.E.*	Grupo	Media $\pm$ E.E.*	Grupo
MIA	234,3 $\pm$ 20,4	A	29,9 $\pm$ 2,6	A	8,37 $\pm$ 1,75	A	4,56 $\pm$ 0,96	A
MEA	254,3 $\pm$ 32,7	A	29,6 $\pm$ 3,7	A	6,95 $\pm$ 1,47	A	3,66 $\pm$ 0,81	A

\*E.E.= Error Estándar; letras comunes indica que son estadísticamente iguales, según prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

**Tabla 4.** Valores para los índices de similitud de Sorensen (IS) y Morisita-Horn (IM-H) para las parcelas, manejo integrado y manejo excesivo de arvenses.

Parcela	Abundancia	S	Nº de especies exclusivas	Nº de especies comunes	$I_s$	$I_{M-H}$
					Valor $\pm$ E.E.*	Valor $\pm$ E.E.*
MIA	2.347	163	85	78	0,48 $\pm$ 0,02	0,98 $\pm$ 0,01
MEA	2.543	162	84			

\*E.E.= Error estándar.

65 especies, donde Halictidae presentó mayor número de especies (22) e individuos (126), y la especie *Pereirapis* sp.1 (Hymenoptera: Halictidae) fue la más abundante; también se encontraron familias de insectos parasitoides como Chalcididae, Crabronidae, Figitidae, Ichneumonidae y Tiphiidae. Por otro lado, el orden Hemiptera presentó 71 individuos y 20 especies, Lepidoptera 27 individuos y 11 especies y, por último, Coleoptera con 22 individuos y 12 especies.

En la comunidad de arvenses se registraron 39 especies pertenecientes a 13 familias (Asteraceae, Caryophyllaceae, Commelinaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Lythraceae, Malvaceae, Poaceae, Polygonaceae, Rubiaceae, Solanaceae y Verbenaceae); las familias más representativas fueron Poaceae con 12 especies y Asteraceae con nueve.

Las métricas de la red de interacciones, se estimaron con 68 especies de insectos y 39 especies de arvenses; sin embargo, la red se construyó solo con las especies de insectos que presentaron más de dos interacciones con las especies de arvenses (Figura 1). De acuerdo con las métricas evaluadas, la proporción de interacciones observadas respecto al total posible fue de 0,05 (conectancia); es decir, que existe un porcentaje bajo de interacciones entre especies especialistas de ambas comunidades; del mismo modo, el índice  $H2'$  fue bajo (0,29), lo que indica que la red es poco especializada (Tabla 5).

El anidamiento ponderado fue de 0,75, significa que el sistema presenta interacciones; sin embargo, están desbalanceadas entre especialistas y generalistas. Se encontró que la comunidad de plantas sería más robusta ( $R= 0,70$ ) a la pérdida de visitantes florales y que los visitantes florales son levemente más sensibles a la pérdida de plantas ( $R= 0,57$ ). También se determinó que las especies

más especialistas se relacionan con las más generalistas dado que la red es asimétrica con valores negativos (-0,31) (Tabla 5).

En cuanto al descriptor fuerza de la especie, para la comunidad de arvenses se encontró que *Commelina difusa* Burm f. (Comelinaceae) fue la más importante para la comunidad de insectos visitantes florales del café; es decir que, al sumar la dependencia de los visitantes a esta planta, fue donde se obtuvo el mayor valor, esto indica que fue la más visitada por diferentes especies de insectos, seguido de *Emilia sonchifolia* (L.) DC. (Asteraceae), *Hyptis atrorubens* Poit. (Lamiaceae), *Galinsoga parviflora* Cav. (Asteraceae), *Panicum laxum* Sw. (Poaceae) y *Borreria alata* Aubl. (Rubiaceae) (Tabla 6).

En cuanto a las interacciones de los insectos con las arvenses (Figura 1), se encontró que *Pereirapis* sp.1, *Toxomerus* sp.1 y *A. mellifera* (Hymenoptera), fueron las especies con el mayor número de interacciones con las diversas especies de arvenses, seguidas de especies del género *Lasioglossum*, *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1825) y *Nannotrigona tristella* Cockerell, 1922 (Hymenoptera).

## DISCUSIÓN

En este trabajo no se encontraron diferencias estadísticas significativas, entre las parcelas con manejo integrado (MIA) y manejo excesivo de arvenses (MEA) en la riqueza, la abundancia y la diversidad del orden  $q=1$  y  $q=2$ , de los insectos visitantes florales en el cultivo del café; sin embargo, sí se observó que cada tipo de manejo presenta especies exclusivas, en su mayoría representadas por un solo individuo. En consecuencia, es recomendable utilizar índices sensibles a la abundancia (Chao et al., 2006), tales como el de Morisita-Horn que en el presente estudio fue de 0,98, lo cual indica que las especies abundantes en los dos tipos



**Tabla 5.** Métricas obtenidas de la red de interacciones para las especies de visitantes florales comunes entre las arvenses y el café.

Métrica	Valor
Conectancia	0,05
Anidamiento ponderado	0,75
H2'	0,29
Robustez de la comunidad de plantas	0,70
Robustez de la comunidad de visitantes florales	0,57
Asimetría de la especialización	-0,31

de manejo son las mismas, corroborando que no hay diferencias en cuanto a la diversidad entre las dos parcelas estudiadas.

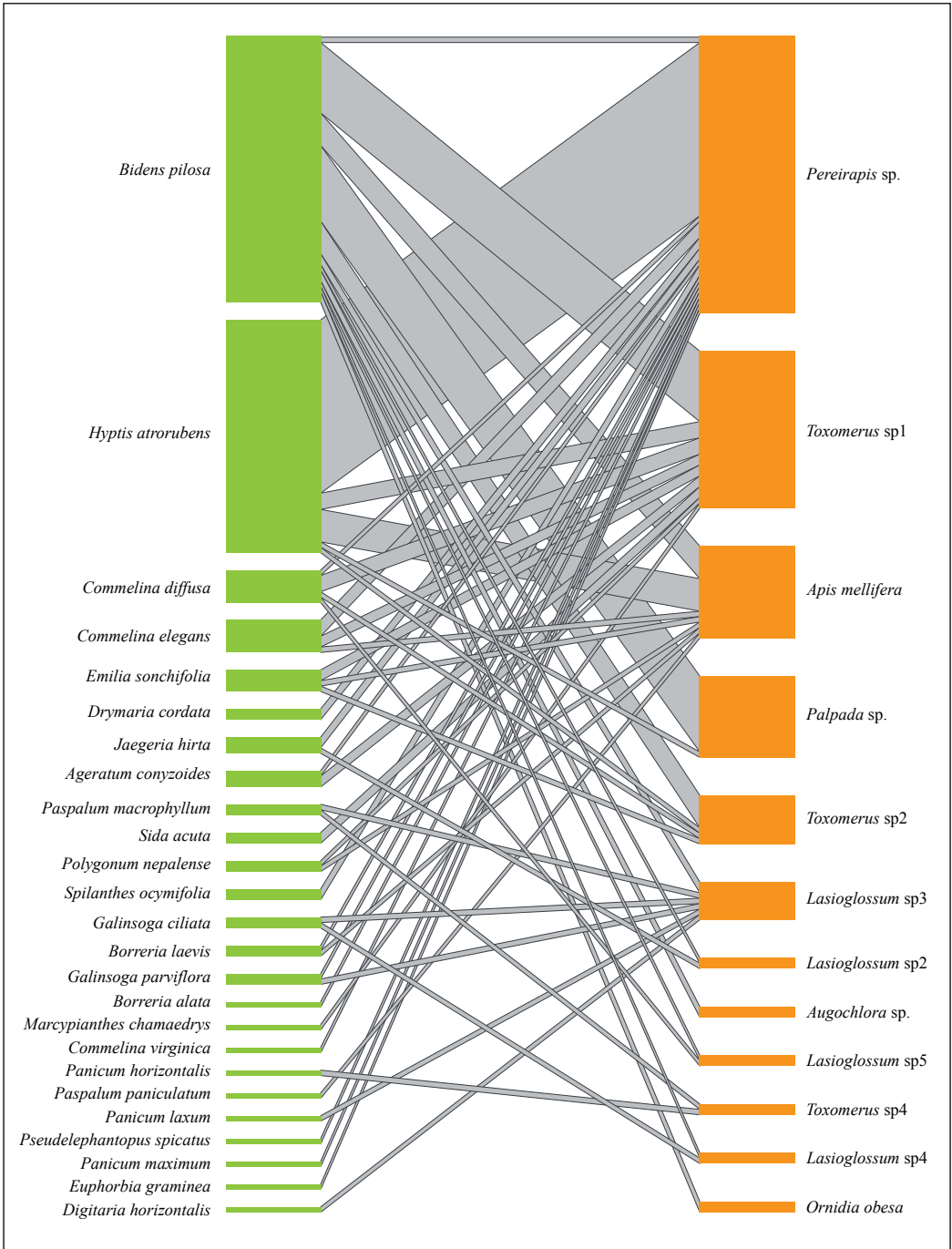
El no encontrar diferencias en la diversidad de insectos entre los dos tipos de manejo de las parcelas, pudo deberse a que el manejo excesivo de las arvenses se realizó 15 días antes de la floración del cultivo del café y no fue un proceso continuo por un largo período de tiempo; sin embargo, entre los recursos que las arvenses le brindan a los insectos se encuentran el polen y el néctar, y en ausencia de las arvenses, los insectos migran en búsqueda de otras fuentes de alimento. En ese orden de ideas, se esperaría que la eliminación temporal de las arvenses afecte la diversidad de visitantes florales en el cultivo del café.

Basu et al. (2016) analizaron los efectos de la intensificación agrícola en la diversidad de abejas a escala de parche (<100 m de radio) y de paisaje (~500 m de radio). Estos autores encontraron que las abejas que anidan en la madera se vieron afectadas negativamente por la cantidad de pesticidas utilizados, especialmente a nivel de parche, influyendo en la riqueza y la abundancia, pero las que habitan en árboles

**Tabla 6.** Fuerza de la especie para las arvenses mas abundantes.

Especie de arvense	Fuerza de la especie
<i>Bidens pilosa</i>	80,8
<i>Commelina diffusa</i>	17,2
<i>Emilia sonchifolia</i>	17,2
<i>Hyptis atrorubens</i>	16,1
<i>Galinsoga parviflora</i>	11,1
<i>Panicum laxum</i>	6,2
<i>Borreria alata</i>	4,6

y ramas no fueron sensibles a los pesticidas. Adicionalmente reportaron que las áreas de cultivo que tenían un manejo menos intensivo albergan especies más raras y son vulnerables a las perturbaciones, y que la cobertura de plantas nativas y por ende herbáceas, es una variable importante únicamente a escala de paisaje, no evaluada en este trabajo. Tomando en cuenta estos hallazgos, es posible que el MIA utilizado en este trabajo, al ser selectivo no afecte a nivel de parche la riqueza, abundancia y dominancia de abejas, las cuales fueron el grupo más representativo de visitantes florales del café. Sin embargo, Basu et al. (2016), Bretagnolle & Gaba (2015) y Rollin et al. (2016), encontraron que a nivel de paisaje, el tipo de manejo de arvenses puede tener efectos negativos sobre la abundancia y la riqueza de visitantes florales, particularmente abejas, ya que se ha observado que, a menor diversidad de especies vegetales, particularmente herbáceas, y menor cobertura de vegetación nativa, hay una reducción en la diversidad de visitantes florales. Aunque en el presente trabajo no se evaluó el efecto de la composición del paisaje sobre los insectos visitantes florales, se resalta que los cafetales de los sitios de estudio están rodeados de rastrojos altos y



**Figura 1.** Red de interacciones para las especies comunes entre los visitantes florales de las arvenses y del cultivo del café. Izquierda, comunidad de arvenses. Derecha, comunidad de visitantes florales.

cañadas arborizadas, lo que puede favorecer la riqueza y abundancia dentro de los cafetales.

De las especies encontradas se destacan las pertenecientes a Chalcididae, Crabronidae, Figitidae, Ichneumonidae y Tiphiidae, las cuales pueden ser controladores biológicos de plagas del café (Sermeño et al., 2019). De acuerdo con Arévalo et al. (2021) y Blanco (2016) las arvenses contribuyen a conservar la diversidad de especies de enemigos naturales, dado que son fuente de alimentación, refugio y nidificación.

En cuanto a la red de interacciones, los resultados de este estudio muestran que las relaciones entre la comunidad de arvenses y los visitantes florales del café son generalistas; este comportamiento es común en comunidades mutualistas como las estudiadas en este trabajo. Bascompte et al. (2003) mostraron que las redes mutualistas son altamente heterogéneas, es decir, la mayoría de las especies tienen pocas interacciones, pero algunas especies tienen muchas más interacciones de las esperadas. También se encontró que la red de interacciones presentó una baja conectancia (0,05), esto podría indicar que el estado de conservación de las parcelas con MIA evaluadas es deficiente, si lo comparamos con los valores reportados entre 0,1 y 0,5 en los estudios de Delmas et al. (2019) y con 0,19-0,30 reportados por Flórez et al. (2002). Sin embargo, Heleno et al. (2012) indicaron que la conectancia no está asociada de forma directa a un estado de conservación en los diferentes tipos de interacciones evaluados; sin embargo, en su investigación, para las redes de interacciones planta-polinizador la conectancia presentó una relación positiva con el valor de conservación.

El valor de anidamiento (0,75) indica que, las interacciones entre especialistas y generalistas están desbalanceadas, mientras que el  $H_2'$  con un valor de 0,29, indica que

las especies especialistas están interactuando en mayor medida con especies generalistas, dominando las interacciones. Esto tiene implicaciones importantes en cuanto a la resiliencia de la comunidad de insectos visitantes florales, ya que al ser generalistas presentan menor susceptibilidad a fragmentación de hábitat y disturbios ecológicos que cambien las abundancias o presencia de especies vegetales (Águilar et al., 2009). El anterior resultado es complementado por el valor de la asimetría de la interacción (-0,31), el cual indica que la comunidad de arvenses es más especializada que la comunidad de insectos visitantes, este fenómeno es común y está asociado a una tendencia evolutiva en este tipo de interacciones, sin que esto necesariamente afecte la sostenibilidad de la biodiversidad (Bascompte et al., 2006).

También se encontró que la comunidad de visitantes florales es más susceptible a la extinción de especies en caso de la remoción de las arvenses; esto se presentó porque unas pocas especies de plantas abarcaron las interacciones con la mayor cantidad de especies de la comunidad de visitantes florales registradas en esta investigación. Esto puede corroborarse con el valor obtenido en la fuerza de la interacción de la especie, donde unas pocas plantas presentan los mayores valores de fuerza de la interacción, principalmente *Bidens pilosa*, seguida por *Commelina difusa*, *Emilia sonchifolia*, *Hyptis atrorubens*, *Galinsoga parviflora*, *Panicum laxum* y *Borreria alata* (Tabla 6). Es importante apreciar que la mayor parte de las arvenses más importantes para la comunidad de insectos visitantes florales son plantas de interferencia media a muy baja con el cultivo del café, excepto *Emilia sonchifolia* y *Panicum laxum*, que son arvenses de alta interferencia (Salazar-Gutiérrez, 2021).

La importancia de algunas de estas especies vegetales ya había sido reportada por Flórez et

al. (2002), quienes en Costa Rica encontraron que plantas como *Bidens pilosa*, *Emilia fosbergii* y *Commelina diffusa*, fueron especies relevantes visitadas por abejas en épocas donde no se daba floración en café. Mientras que Silva et al. (2003) encontraron que plantas como *Bidens odorata* y *Galinsoga parviflora* están asociadas a la abundancia de diferentes grupos de entomofauna, incluyendo visitantes florales.

Puede concluirse que:

La riqueza y abundancia de insectos dentro de los cafetales no depende exclusivamente de la presencia de las arvenses, considerando la heterogeneidad del paisaje circundante. Se resalta la importancia de conservar los relictos de bosque, las cañadas arborizadas, los rastrojos altos, los guaduales y demás elementos del paisaje, para atraer y maximizar la diversidad de polinizadores que visitan las flores del café.

Aunque no se encontraron diferencias en la riqueza y abundancia de los insectos visitantes florales del cultivo del café, en parcelas con manejo integrado y manejo excesivo de arvenses, algunas especies de

arvenses fueron atractivas para especies de insectos visitantes florales del cultivo del café y esto es de gran importancia funcional, ya que su desaparición de la red podría tener efectos negativos para la comunidad de visitantes florales. En caso de ambientes poco heterogéneos estas especies podrían sostener la diversidad necesaria.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Esther Cecilia Montoya por el análisis estadístico de los datos; a los coordinadores de la Estación Experimental La Catalina, Diego Fabián Montoya y de La Estación Experimental Naranjal Jhon Félix Trejos y Melsar Danilo Santamaría, por su apoyo en el trabajo de campo; y a los revisores anónimos por sus comentarios y aportes que ayudaron a mejorar el escrito. Esta investigación hizo parte del proyecto ENT106003 “Evaluación de los insectos visitantes florales en café en Colombia, con énfasis en abejas, y su efecto en la producción y calidad”, bajo el acuerdo de cooperación en investigación CN-2017-1336 entre Bayer AG y Cenicafé (Crossref Funder ID 100019597).




## LITERATURA CITADA

- Aguilar, R., Ashworth, L., Cagnolo, L., Jausoro, M., Quesada, M., & Galetto, L. (2009). Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. En R. Medel, M. A. Aizen, & R. Zamora (Eds.), *Ecología y evolución de interacciones planta-animal* (pp. 199–232). Editorial Universitaria.
- Arévalo, L. F., Vasco, G. F., Albino-Bohórquez, A., Morales, J., & Bacca, T. (2021). Coffee crop weeds: Refuge and food source for pests' natural enemies. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 36–49. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.157>
- Bascompte, J., Jordano, P., & Olesen, J. M. (2006). Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science*, 312(5772), 431–433. <https://doi.org/10.1126/science.1123412>
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(16), 9383–9387. <https://doi.org/10.1073/pnas.1633576100>
- Borror, D. J., Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (1989). *An introduction to the study of insects* (6a ed.). Saunders College Publishing.
- Basu, P., Parui, A. K., Chatterjee, S., Dutta, A., Chakraborty, P., Roberts, S., & Smith, B. (2016). Scale dependent drivers of wild bee diversity in tropical heterogeneous

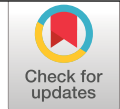
- agricultural landscapes. *Ecology and Evolution*, 6(19), 6983–6992. <https://doi.org/10.1002/ece3.2360>
- Blanco, Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34–56. <https://doi.org/10.1234/ct.v37i4.1292>
- Bretagnolle, V., & Gaba, S. (2015). Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 891–909. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0302-5>
- Cepeda-Valencia, J., Gómez, D., & Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes del café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 241–250. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v40n2/v40n2a18.pdf>
- Chao, K. H., Ma, T. C. H., & Chiu, C. H. (2016). *SpadeR: Species-Richness Prediction and Diversity Estimation with R (0.1.1)* [SpadeR]. <https://cran.r-project.org/web/packages/SpadeR/index.html>
- Delmas, E., Besson, M., Brice, M.-H., Burkle, L. A., Dalla Riva, G. V., Fortin, M.-J., Gravel, D., Guimarães Jr., P. R., Hembry, D. H., Newman, E. A., Olesen, J. M., Pires, M. M., Yeakel, J. D., & Poisot, T. (2019). Analysing ecological networks of species interactions. *Biological Reviews*, 94(1), 16–36. <https://doi.org/10.1111/bvr.12433>
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *R News*, 8(2), 8–11.
- Engel, M. S. (2000). Classification of the bee tribe Augochlorini (Hymenoptera, Halictidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 250, 1–89.
- Fernández, F., & Sharkey, M. J. (Eds.). (2006). *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Universidad Nacional de Colombia; Sociedad Colombiana de Entomología SOCOLEN. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34432>
- Flórez, J. A., Muschlet, R., Harvey, C., Finegan, B., & Roubik, D. W. (2002). Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas*, 9, 35–36. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5826>
- Girón, M. (1995). Análisis palinológico de la miel y la carga de polen colectada por *Apis mellifera* en el suroeste de Antioquia, Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 3(2), 35–54. <http://hdl.handle.net/10893/4697>
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., & Shen, T. J. (2006). Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. *Biometrics*, 62(2), 361–371. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00489.x>
- Heleno, R., Devoto, M., & Pocock, M. (2012). Connectance of species interaction networks and conservation value: Is it any good to be well connected? *Ecological Indicators*, 14(1), 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.032>
- Hill, M. O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54(2), 427–432. <https://doi.org/10.2307/1934352>
- Hincapié, E., & Salazar, L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 359, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/379>
- Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L. (2007). Partitioning Diversity into Independent Alpha and Beta Components. *Ecology*, 88(10), 2427–2439. <https://doi.org/10.1890/06-1736.1>
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world* (2a ed.). Johns Hopkins University Press.
- Ngo, H. T., Mojica, A. C., & Packer, L. (2011). Coffee plant – pollinator interactions: A review. *Canadian Journal of Zoology*, 89(8), 647–660. <https://doi.org/10.1139/z11-028>
- R Software Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (4.3.0) [Computer software]. <https://www.r-project.org>
- Rollin, O., Benelli, G., Benvenuti, S., Decourtye, A., Wratten, S. D., Canale, A., & Desneux, N. (2016). Weed-insect pollinator networks as bio-indicators of ecological sustainability in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0342-x>
- Salazar-Gutiérrez, L. F., & Hincapié, E. (2007). Las arvenses y su manejo en los cafetales. En J. Arcila, F.F. Farfán, A.

- M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 101-130). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Salazar-Gutiérrez, L., & Hincapié, E. (2020). Las arvenses y su interferencia en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 124–148). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0002\\_4](https://doi.org/10.38141/10791/0002_4)
- Salazar-Gutiérrez, L. (2021). *Arvenses frecuentes en el cultivo del café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0015>
- SAS Institute. (2020). SAS® OnDemand for Academics: User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sermeño-Chicas, J. M., Pérez, D., Joyce, A. L., Maldonado Santos, E. J., Alvanés Leiva, Y. C., Rodríguez Sibrián, F. M., Girón Segovia, C. D., García Sánchez, D. A., Hernández León, C. E., Rivas Nieto, F., Rivera Mejía, F. A., Parada Berrios, F. Á., Rodríguez Urrutia, E. A., Vásquez Osegueda, E. A., & Lovo Lara, L. M. (2019). *Diversidad de artrópodos y sus enemigos naturales asociados al café (Coffea arabica L.) en El Salvador*. Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19728/>
- Silva Aparicio, M., Castro Ramírez, A. E., León Cortés, J. L., & Ishiki Ishihara, M. (2003). Entomofauna asociada a maíz de temporal con diferentes manejos de malezas en Chiapas, México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 70, 65–73. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6213>
- Torres-Angarita, F. A., & Salazar-Gutiérrez, L. F. (2020). Manejo de arvenses en el cultivo del café: Alternativas de control químico en la zona del plato. *Avances Técnicos Cenicafé*, 520, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0520>

# CONTAMINACIÓN DE OPERARIOS CON EQUIPOS DE ASPERSIÓN DURANTE APLICACIONES PARA EL CONTROL DE LA BROCA DEL CAFÉ

Anibal Arcila Moreno \*, Diógenes Alberto Villalba-Gault \*\*, Esther Cecilia Montoya Restrepo \*\*\*, Pablo Benavides Machado \*\*\*\*

Arcila-Moreno, A., Villalba-Gault, D. A., Montoya, E. C., & Benavides Machado, P. (2023). Contaminación de operarios con equipos de aspersión durante aplicaciones para el control de la broca del café. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74103. <https://doi.org/10.38141/10778/74103>



Esta investigación tuvo como fin determinar la contaminación de operarios de equipos de aspersión durante aplicaciones para el control de la broca del café. Se seleccionaron lotes de café productivos en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda). Se evaluaron los equipos: presión hidráulica de espalda, presión previa retenida 40-100-10, presión previa retenida con aguilón vertical, motorizado de espalda con bomba de presión y semiestacionario motorizado. El estudio se realizó en dos momentos del día, con cinco operarios a la vez. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar y diez repeticiones por equipo. A cada operario se le colocaron 39 tarjetas de papel kromacote en diferentes partes del traje de protección: gorra, monogafas, careta, overol, guantes y botas. Como colorante se utilizó azul de metileno técnico al 1%. Las tarjetas fueron digitalizadas y bajo un programa de análisis de imagen Scilab 5.4.0 en Linux se determinó el porcentaje de área de la tarjeta cubierta por la aspersión y el número de gotas por tarjeta. Los resultados mostraron una exposición a los plaguicidas en todos los elementos del traje de protección, sin embargo, la careta y monogafas tuvieron la menor contaminación; los guantes y la gorra tuvieron la mayor exposición. El equipo motorizado de espalda deposita la menor cantidad de producto en el operario durante la aspersión; caso contrario, con el equipo de presión previa retenida con aguilón vertical, que produjo la mayor contaminación sobre el operario.

**Palabras clave:** Cultivo de café, *Hypothenemus hampei*, técnicas de aspersión, presión previa retenida, semiestacionario, aspersora, aguilón vertical, elementos de protección personal, Cenicafé.

## OPERATOR CONTAMINATION WITH SPRAYING EQUIPMENT DURING APPLICATIONS TO CONTROL COFFEE BERRY BORER

This research aimed to determine the contamination of spraying equipment on operators during applications to control coffee berry borer. Productive coffee plots were selected at La Catalina Experimental Station in the municipality of Pereira (Risaralda). The evaluated equipment were: hydraulic back sprayer with lever, retained pre-compression 40-100-10, retained pre-compression with vertical sprayers and semi-stationary hydraulic motorized back sprayer. The study was carried out in two moments during the day with five operators at the time. A randomized complete block design with 10 repetitions per equipment was used. Thirty-nine kromekote paper cards were placed on each operator in different parts of a protective suit: cap, operator glasses, mask, overall, gloves and boots. As a colorant, 1% technical methylene blue was used. The cards were digitized and the percentage of the card area covered by the spray and the number of drops per card were determined through a Scilab 5.4.0 image analysis program in Linux. The results showed an exposure to pesticides in all the elements of the protective suit. However, the mask and the operator glasses had the least contamination; while the gloves and the cap had the highest exposure. The hydraulic motorized back sprayer equipment deposits the least amount of product on the operator during spraying. In contrast, the retained pre-compression with vertical sprayers equipment produces the greatest contamination on the operator.

**Keywords:** Coffee cultivation, *Hypothenemus hampei*, spraying techniques, retained pre-compression, semi-stationary, sprayer, vertical boom, personal protective equipment, Cenicafé.

\* Asistente de Investigación. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-4276-0521>

\*\* Ingeniero agrónomo M.Sc.

\*\*\* Investigador Senior. Gerencia Técnica, Federación Nacional de Cafeteros. <https://orcid.org/0000-0001-5891-1040>

\*\*\*\* Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>



En Colombia, el cultivo del café por tradición no había recurrido a la aplicación de plaguicidas; con la llegada de la broca en el año 1988, para su control se hizo necesario el uso de la tecnología de aplicación y equipos de aspersión existentes (Villalba-Gault, 2008). La selección de los equipos depende de diversos factores, entre ellos, características topográficas de los lotes, área de los cultivos, costo de los equipos, facilidad de uso y disponibilidad de mano de obra. Los principales equipos de aspersión que se utilizan en la zona cafetera son de presión previa retenida, aspersoras hidráulicas de espalda operadas bien sea manualmente (palanca) o accionadas por motor y equipos motorizados semiestacionarios (Benavides Machado et al., 2013). Estos equipos utilizan altos volúmenes de aspersión (superiores a los 200 L ha<sup>-1</sup>) y utilizan boquillas que producen tamaños de gotas muy variables, lo que conlleva a pérdidas por deriva y escurrimiento (Bustillo-Pardey, 2007; Flórez et al., 1997).

La exposición de los operarios a los plaguicidas depende de tres elementos fundamentales: tipo de producto a aplicar, manipulación y proceso de aplicación (Matthews, 2002); sin embargo, Behmer (1998) y Baharuddin et al. (2011) confirman la relevancia del equipo de aplicación, volumen de aspersión, tiempo de aplicación y equipo de protección. La piel es la vía de exposición más importante (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002; MacFarlane et al., 2013); es así como Leiva (1997) menciona que la absorción de los plaguicidas a través de la piel varía en intensidad, de acuerdo con la zona del cuerpo considerada, por ejemplo, la cabeza (cuero cabelludo, frente y ojos) puede absorber el 40%, los brazos el 60%, mientras que en el bajo vientre puede absorber hasta el 100%.

El uso de elementos de protección personal (EPP) puede disminuir el riesgo de intoxicación

por exposición dérmica, ocular u oral (Fishel, 2018); por ello, la importancia de los EPP. Behmer (2001) al determinar la eficiencia de una prenda de protección sectorizada durante una aspersión en un huerto frutal, encontró que existen partes del cuerpo con menor riesgo de contaminación, por ello es posible el uso de indumentaria con zonas de protección diferenciada. Gilbert & Bell (1990) afirman que el equipo de protección debe cubrir todas las partes del cuerpo con riesgo de exposición, las cuales involucran generalmente al cuerpo entero, pero en especial la cara, manos y pies. Una investigación en Argentina, sobre las zonas de deposición de agroquímicos en el cuerpo de los operarios durante aplicaciones foliares en diferentes cultivos hortícolas, demostró que, si bien la exposición es en todo el cuerpo, se obtuvieron diferentes distribuciones de los residuos, siendo las piernas las más contaminadas, por lo tanto, según el estudio, es necesario contar con elementos de protección que cubran el cuerpo en su totalidad (Bulacio et al., 2007). En Costa Rica, un estudio de aplicaciones en el cultivo de *Sechium edule* (cidra), encontró que las regiones del cuerpo del operario con mayor exposición a los plaguicidas fueron las manos, rostro y cuello (Medina-Escobar et al., 2014). Airey (1990) menciona que los conjuntos de chaqueta y pantalón impermeables resultan adecuados desde el punto de vista de la protección.

En cuanto al efecto de los equipos de aspersión sobre la contaminación de los operarios, en general, se indica que los equipos manuales generan una mayor exposición a los plaguicidas que con otras técnicas de aplicación, en donde el operador no está en contacto directo con la nube asperjada (Nurulain et al., 2017). Machado Neto (1990) al evaluar la contaminación de los operarios que aplican en tomate, señalan que con equipos de palanca, las partes del cuerpo más expuestas son las



piernas, con lo cual sugiere la conveniencia de emplear ropa protectora acorde con la técnica de aplicación utilizada por el operario. En ese mismo sentido, Matthews (2002) indica que en aplicaciones con equipos de espalda, las manos se contaminan el 20%, las piernas el 50% y el resto del cuerpo, el 30%. En un cultivo de invernadero de tres metros de alto, al comparar la contaminación de trabajadores que usaron un equipo manual con un aguilón con cuatro boquillas, frente a los que manejaron un tractor con dos aguilonos (uno a cada lado) y cuatro boquillas por aguilón, encontraron mayor contaminación en el primer caso (Balloni et al., 2008). De igual forma, la presión de trabajo de los equipos pareciera ser muy importante, es así como Machera et al. (2003) al estudiar la contaminación en operarios de un cultivo de tomate en invernadero, encontraron que con una baja presión (43,5 psi) el total del volumen contaminante recuperado por operario, estuvo entre 25,4 y 35,8 cm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, mientras al usar presión alta (261,0 psi) el volumen recuperado por operario fue de 160,8 a 283,4 cm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, con lo cual concluyen que el grado de exposición del operario se incrementa con el aumento de la presión. En cuanto a la influencia del tipo de boquillas, la deposición de plaguicidas en diferentes partes del cuerpo, fue mayor con boquillas de cortina o abanico, seguido por cono hueco y la menor contaminación con boquillas de baja deriva, en resumen, la exposición total del operario puede reducirse del 21,3% al 46,8% mediante el uso de boquillas de baja deriva en aplicaciones de plaguicidas (Yarpuz-Bozdogan & Bozdogan, 2009).

El objetivo del presente estudio fue conocer el grado de exposición de los EPP a los insecticidas durante aspersiones para el control de la broca del café. Adicionalmente, los resultados permitirán obtener información pertinente para dirigir estudios de nuevas tecnologías de aplicación y recomendar a los caficultores los elementos de protección

necesarios que deben usar los operarios en las actividades de aspersión en el cultivo del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El experimento se realizó en la Estación Experimental La Catalina (Cenicafé), ubicada en la vereda El Retiro, municipio de Pereira (Risaralda, Colombia), a 04° 45' de latitud Norte, 75° 44' de longitud Oeste y altitud de 1.321 m. Se tomó un lote de café variedad Colombia, renovado por siembra, de cuatro años de edad; sembrado a libre exposición solar, con densidad de siembra de 5.000 árboles por hectárea y pendiente del terreno menor al 40%.

**Metodología.** Como tratamientos fueron evaluados cinco equipos de aspersión (Tabla 1), cada equipo fue operado por cinco trabajadores. La unidad de trabajo por operario y equipo consistió en una jornada laboral completa de ocho horas, en dos períodos de trabajo, de 7 am a 11 am y de 1 pm a 5 pm. La unidad de muestreo la conformaron 39 tarjetas de papel Kromacote, de 20 cm<sup>2</sup> (5x4 cm), puestas al inicio de cada período y retiradas al final del mismo. En total, se evaluaron 78 tarjetas/operario/día. Los equipos fueron asignados a los operarios bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el factor de bloqueo fue el operario.

**Procedimiento.** Las tarjetas fueron debidamente identificadas y distribuidas en diferentes partes de los elementos de protección del operario (en la parte anterior y posterior del cuerpo): gorra, monogafas, protector respiratorio (careta), overol, guantes (protegiendo solo las manos) y botas (protegiendo solo los pies). En el caso del overol se diferenciaron dos partes: parte superior o tronco y brazos (cubriendo hasta la muñeca, el guante iba por dentro de la manga) y piernas (cubriendo hasta el tobillo, la caña de la bota iba por dentro de la manga

**Tabla 1.** Descripción de los equipos de aspersión a evaluar.

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Boquilla</b>	<b>Flujo boquilla (cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>)</b>
Presión hidráulica de espalda (palanca)	Royal Cóndor	RC 350B 101X	350 <sup>1</sup>
Presión previa retenida (PPR)	Triunfo 40-100-10	TXVS3	200 <sup>1</sup>
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	Triunfo 40-100-10	TXVS3	800 <sup>2</sup>
Motorizado de espalda con bomba de presión	Maruyama MS 056	D – 35	1.400 <sup>3</sup>
Semiestacionaria motorizada	Maruyama MS 253	D – 35	1.400 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> A una presión de 40 psi. <sup>2</sup> Descarga de 4 boquillas a 40 psi. <sup>3</sup> Descarga de 2 discos y 213 psi.

del pantalón). Se usó cinta de enmascarar de 2 pulgadas de ancho para adherir las tarjetas a las diferentes partes del equipo de protección. Como colorante se utilizó azul de metileno en grado técnico al 1%.

Los operarios fueron seleccionados entre el personal que se dedica a las labores de aspersión de la Estación Experimental y previamente fueron capacitados en las aplicaciones a realizar. Cada equipo se calibró con cada uno de los operarios con el fin de asegurar un volumen de aplicación por árbol aproximado de 50 cm<sup>3</sup>. Primero, se determinó el flujo de la boquilla, luego se colocó una cantidad conocida de agua y se estableció el número de árboles asperjados por minuto, asegurando que el operario realizara la aplicación de acuerdo al sistema definido para cada equipo.

El sistema de aplicación empleado dependió de los equipos utilizados. Con el equipo de palanca, PPR y PPR+AV, se usó el sistema de aplicación de dos medias caras (surco del operario). Con el equipo motorizado de

espalda, se utilizó el sistema de dos surcos por encima de la copa de los árboles. Para el equipo semiestacionario, se tomó el sistema de dos medias caras de ida (surco del operario) y dos de regreso (surco contiguo).

Luego de retirar las tarjetas del cuerpo del operario, se colocaron en una bolsa plástica previamente marcada con el nombre del operario, equipo y parte del traje de protección. De este modo, fueron llevadas al laboratorio para su análisis.

**Análisis de la información.** Para el proceso de lectura, análisis y medición de las gotas marcadas en las tarjetas, se realizaron los desarrollos que se describen a continuación:

Digitalización de imágenes. Las tarjetas de Kromacote se digitalizaron en un escáner HP serie Scanjet 5590, a una resolución de 1.200 ppp (puntos por pulgada) con un tamaño de 2.560 x 2.560 píxeles (5,4 cm<sup>2</sup>). Una vez digitalizadas las tarjetas, se eliminaron los bordes que pudieran generar

lecturas erróneas, quedando con un tamaño final de 1.700 x 1.700 píxeles (3,6 cm<sup>2</sup>). Este procedimiento se realizó bajo una plataforma Linux Mint 13, mediante un script, invocando funciones de formateo de imágenes por lotes de la herramienta ImageMagic Versión 6.2.4.

Análisis de imagen. Para esta etapa, se desarrolló una aplicación bajo Linux con el programa Scilab 5.4.0, haciendo uso de librerías gráficas para procesamiento de imágenes. En este proceso, se hizo una conversión de la imagen de 16 millones de colores a ocho bits en escala de grises; posteriormente, se determinó un umbral para diferenciar las gotas del fondo y se realizó un conteo en toda la tarjeta de los píxeles que se consideraban gotas. Los píxeles que se encontraban unidos entre sí y que estaban dentro de la gama de grises que se consideraba gota, permitió determinar el área de cada gota y posteriormente el número de gotas presente en cada tarjeta. Finalmente, con la sumatoria del área de cada gota, se obtuvo el porcentaje de cubrimiento.

**Variables de estudio.** Como variable de respuesta se estableció el porcentaje de área cubierta por las gotas asperjadas en la tarjeta (cubrimiento), variable que representa la medición del riesgo de la aplicación sobre el operario y como variable complementaria, el número medio de gotas por tarjeta (densidad de gotas). Área efectiva de lectura, 3,6 cm<sup>2</sup>.

**Análisis estadístico.** Por cada equipo y parte del cuerpo del operario, se estimó el promedio y variación para las dos variables de estudio. Posteriormente, para cada variable se realizó un análisis de varianza bajo el modelo para el diseño experimental bloques completos al azar al 5% y luego se aplicó la Prueba de Tukey al 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cada equipo evaluado, según el análisis de varianza, los resultados mostraron que hubo efecto de los operarios; que fueron utilizados como factor de bloqueo para evaluar las diferencias entre los elementos de protección, en la variable de respuesta. La Tabla 2 muestra el cubrimiento y densidad de gotas en los diferentes EPP estudiados, para cada equipo de aspersión. El análisis de varianza mostró que, en todos los equipos evaluados, al menos uno de los EPP exhibió mayor exposición con el cubrimiento de las tarjetas, es decir, llegó más producto. Los guantes y la gorra fueron los elementos que, estadísticamente, tuvieron mayor cubrimiento durante la aspersión, en comparación con el resto de EPP (overol, monogafas y careta). Con relación a la variable densidad de gotas, esta solo muestra el número de impactos sobre la tarjeta; en el caso del cubrimiento, este depende no solo del número de impactos, sino que, en mayor o menor medida, del espectro del tamaño de las gotas que cada equipo produce. Por lo anterior, la variable cubrimiento puede dar una mayor idea de la real exposición del EPP a una aspersión.

La Tabla 3 muestra el efecto de cada equipo de aplicación sobre el grado de cubrimiento de los diferentes EPP estudiados. Elementos como la gorra, guantes, monogafas y overol (tronco – brazos) fueron los más contaminados por el equipo PPR+AV. A su vez, el overol parte inferior (piernas) tuvo la mayor exposición con el equipo PPR. Para las botas, los equipos PPR y palanca causaron el mayor cubrimiento de la nube asperjada sobre este EPP. Finalmente, los equipos PPR, palanca y motorizado de espalda exhibieron un mayor cubrimiento en la careta. En general, los EPP estuvieron más expuestos a la aspersión por los equipos que trabajaron con presiones de 40 psi que con 213 psi.

**Tabla 2.** Promedio por operario–tarjeta y error estándar (EE), para las variables cubrimiento y número de gotas, en cada equipo evaluado y por elemento de protección.

Equipo	Elemento de protección	Cubrimiento (%)		EE	Número gotas/tarjeta		EE
Presión hidráulica de espalda (palanca)	Guantes	15,9	AB	2,7	4.969,9	A	507,0
	Gorra	14,5	AB	1,8	6.001,0	A	468,3
	Botas	12,4	AB	3,8	3.702,3	B	447,5
	Overol (tronco-brazos)	8,5	BC	1,3	3.281,8	B	354,9
	Overol (piernas)	6,6	C	0,7	2.913,4	B	215,4
	Monogafas	5,0	C	0,7	2.595,1	BC	324,5
	Careta	4,2	C	1,1	1.800,0	C	443,3
Presión previa retenida (PPR)	Guantes	28,7	A	3,7	6.732,2	A	444,5
	Gorra	21,6	BC	3,5	7.454,1	A	671,5
	Botas	17,7	BC	5,0	4.332,6	B	504,7
	Overol (tronco-brazos)	13,8	CD	1,9	4.953,3	B	400,4
	Overol (piernas)	12,4	CDE	1,6	4.591,7	B	338,0
	Monogafas	7,3	DE	2,2	3.476,8	BC	543,7
	Careta	6,3	E	1,7	2.612,7	C	476,5
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	Gorra	62,6	A	2,5	2.659,9	A	240,7
	Guantes	51,0	B	3,9	3.064,5	A	335,2
	Monogafas	20,7	C	4,0	2.680,9	A	447,8
	Overol (tronco-brazos)	19,1	C	2,6	2.284,8	A	223,0
	Overol (piernas)	6,8	D	0,7	2.609,6	A	263,4
	Botas	4,9	D	1,7	1.246,0	B	232,0
	Careta	2,3	D	0,5	741,7	B	110,2
Motorizado de espalda con bomba de presión	Guantes	6,6	A	1,2	3.820,5	AB	414,1
	Gorra	5,9	AB	1,0	3.391,6	AB	359,1
	Botas	3,9	BC	0,8	2.711,2	BC	410,1
	Overol (piernas)	3,4	C	0,3	2.733,6	BC	174,3
	Overol (tronco-brazos)	3,2	C	0,5	2.485,8	BC	313,5
	Monogafas	2,3	C	0,6	1.663,6	CD	293,5
	Careta	1,8	C	0,5	1.081,3	D	284,9
Semiestacionaria motorizada	Gorra	15,7	A	2,5	5.817,6	A	477,1
	Guantes	11,6	AB	1,8	5.665,9	A	646,5
	Overol (tronco-brazos)	9,3	BC	1,3	4.719,5	AB	420,1
	Overol (piernas)	8,2	BC	1,1	3.941,7	BCD	366,5
	Monogafas	6,4	BC	1,6	3.722,5	BCD	633,0
	Careta	4,3	C	1,3	2.435,6	D	578,1
	Botas	4,2	C	0,6	3.034,1	CD	317,2

Para cada elemento de protección, letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

**Tabla 3.** Promedio por operario–tarjeta para la variable cubrimiento (%), por elemento de protección en cada equipo evaluado.

Elemento de protección	Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)		Presión previa retenida (PPR)		Semiestacionaria motorizada		Presión hidráulica de espalda (palanca)		Motorizado de espalda con bomba de presión	
Gorra	62,6	A	21,6	B	15,7	BC	14,5	C	5,9	D
Guantes	51	A	28,7	B	11,6	CD	15,9	C	6,6	D
Monogafas	20,7	A	7,3	B	6,4	BC	5	B	2,3	B
Overol (tronco-brazos)	19,1	A	13,8	B	9,3	BC	8,5	C	3,2	D
Overol (piernas)	6,8	B	12,4	A	8,2	B	6,6	B	3,4	C
Botas	4,9	B	17,7	A	4,2	B	12,4	AB	3,9	B
Careta	2,3	B	6,3	A	4,3	AB	4,2	AB	1,8	B

Por elemento de protección, letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

En la Tabla 4 se observa que la contaminación de los EPP en conjunto, dependió del equipo utilizado. El equipo de PPR+AV fue el que produjo mayor contaminación, estadísticamente superior a los demás equipos. A su vez, el equipo motorizado de espalda fue el que menor cubrimiento generó. En cuanto a la densidad de gotas, el equipo estudiado también influyó, aunque en un orden diferente al observado con la variable cubrimiento. El mayor número de impactos sobre las tarjetas se registró con el PPR, seguido por el equipo semiestacionario. Los equipos PPR+AV y motorizado de espalda fueron los que menor número de gotas impactaron en las tarjetas. Este resultado difiere con lo hallado por Montoya & Villalba (2013), en una investigación realizada en Cenicafé, donde encontraron que los equipos de aspersión evaluados durante aplicaciones para el control de la broca, tuvieron diferencias

en la calidad física de las aplicaciones, siendo los equipos motorizados, tanto de espalda como semiestacionario, los que produjeron mayor número de gotas por centímetro cuadrado, que los equipos de palanca; sin embargo, debe recordarse que este estudio midió el cubrimiento en el cultivo, por lo que otro tipo de gotas pudieron llegar allí.

Los resultados obtenidos demuestran que la exposición a los plaguicidas durante la aspersión es en todo el cuerpo; sin embargo, en algunas partes hay mayor exposición que en otras (Bulacio et al., 2007; Gilbert & Bell, 1990; Medina-Escobar et al., 2014). En ese sentido, se confirma que la mano es una parte del cuerpo con mayor exposición durante la aplicación, por lo tanto, los guantes son los EPP que mayor efectividad ofrecen contra la contaminación por plaguicidas durante esta

**Tabla 4.** Promedio por operario–tarjeta para las variables cubrimiento y número de gotas por equipo, independiente del elemento de protección.

Equipo de aspersión	Cubrimiento (%)		Número de gotas			
	Promedio	EE	Promedio	EE		
Presión previa retenida con aguilón vertical (PPR+AV)	26,67	A	1,90	2.354,21	D	116,10
Presión previa retenida (PPR)	15,74	B	1,20	5.214,35	A	227,42
Semiestacionaria motorizada	9,65	C	0,70	4.519,88	B	207,03
Presión hidráulica de espalda (palanca)	9,56	C	0,70	3.741,84	C	187,38
Motorizado de espalda con bomba de presión	3,98	D	0,30	2.685,36	D	141,52

Letras no comunes, implica diferencia entre promedios de los equipos evaluados, según prueba de Tukey al 5%.

actividad (Baldi et al., 2006; Lander & Hinke, 1992; Medina-Escobar et al., 2014; Nigg et al., 1986; Stewart et al., 1999). Adicionalmente, se aporta nueva evidencia en cuanto a los EPP más expuestos a los insecticidas durante su aspersión; en este caso, se halló que la gorra (protector de la parte superior de la cabeza), es uno de los dos elementos más significativamente contaminados por los insecticidas asperjados durante el control de la broca. De otra parte, aunque Gilbert & Bell (1990) y Medina-Escobar et al. (2014) afirman que la cara es una de las partes del cuerpo con mayor exposición a las aspersiones, en este estudio no pudo comprobarse; el porcentaje de área cubierta por la aspersión tanto en las monogafas como en la careta, así lo muestran. Tampoco se encontró que las piernas fueran una de las partes del cuerpo más expuestas a las aplicaciones con equipos de espalda (Machado Neto, 1990; Matthews, 2002); sin embargo, se confirmó que las botas son un EPP con alta exposición a los insecticidas cuando se utilizan este tipo de equipos.

Este estudio corrobora que el tipo de equipo de aspersión determina en el cuerpo

de los operarios, el grado de exposición a los plaguicidas (Baharuddin et al., 2011; Baldi et al., 2006; Behmer et al., 1998). Así mismo, muestra que el uso de aguilones acoplados a equipos manuales pueden ser más contaminantes que otro tipo de equipos (Balloni et al., 2008). De otro lado, la mayor influencia sobre el cubrimiento en los EPP con los equipos de aspersión que trabajaron a presiones de 40 psi que con aquellos de 213 psi, difiere con lo hallado por Machera et al. (2003), quienes afirman que los equipos que trabajan a presiones altas son los producen mayor contaminación. En esta investigación no pudo corroborarse la influencia del tipo de boquillas mencionada por Yarpuz-Bozdogan & Bozdogan (2009), por cuanto fue con las boquillas de cono hueco (RC350B y TXVS3) que se presentó el mayor cubrimiento de los elementos de protección y no con las de abanico D-35 de los equipos motorizados, que en este caso fue con la que menor contaminación se obtuvo sobre los operarios.

Los equipos evaluados trabajaron con boquillas de abanico o cortina (D-35) o de cono hueco (TX3) y son boquillas hidráulicas,

las cuales producen tamaño de gotas entre 10 y 1.000  $\mu\text{m}$ ; sin embargo, el tamaño promedio y el espectro del tamaño de las gotas, disminuye con el aumento de la presión, en especial a presiones de 217 psi (Matthews, 1987), cercano a las presiones de 213 psi evaluadas. Estudios anteriores han demostrado que al aumentar el tamaño de gota se observa un mayor número de éstas cerca a la fuente de origen de la aspersión; además, a bajas velocidades del viento (incluso a favor), el arrastre de las gotas también fue menor, con lo cual la distancia de transporte de las gotas disminuye para las más grandes; esta variación en el tamaño de gota puede ser dado por la reducción de presión del equipo (Matthews, 1987). Montoya y Villalba (2013) encontraron que los equipos PPR, PPR+AV y palanca produjeron gotas de mayor tamaño que los equipos motorizados, tanto de espalda como semiestacionario, observación confirmada por Prinzio et al. (2010), en un estudio sobre el efecto de la presión sobre la calidad de la aspersión en huertos, donde hallaron que con equipos a bajas presiones (72,5 psi) en comparación con altas presiones (261,0 psi), se obtuvo mayor cantidad de producto aplicado cerca de las hileras tratadas; además, con los equipos de alta presión hubo más deriva que los equipos trabajando a baja presión.

Aparte del papel fundamental que juega el equipo de aplicación, las condiciones meteorológicas durante la aspersión también ocupan un rol importante para la diseminación de las gotas y posterior contaminación de los EPP. Factores como humedad, temperatura o el viento, determinan la distancia a la que pueden ser arrastradas las gotas (Matthews, 1987). De este modo, es posible que dichos elementos climáticos influyeran para que una proporción de gotas no llegaran al blanco biológico, sino que quedaran junto al operario, permitiendo una contaminación considerable de los EPP en algunos casos. Si bien en este estudio no fueron registradas variables

climatológicas, Jaramillo (1982) indica que la velocidad del viento dentro de cafetales variedad Caturra, de 1,5 m de alto, es mucho menor que la registrada por las estaciones climatológicas cercanas al cultivo; además, presenta gráficas en donde muestra que las velocidades del viento durante las 24 horas del día, fueron inferiores a 3  $\text{km h}^{-1}$ , velocidades que de acuerdo a Matthews (1987) pueden ser bajas y no permitirían un desplazamiento importante de las gotas, quedando muy cerca al equipo de aspersión.

Estos trabajos permitirían explicar el por qué, especialmente, con los equipos PPR+AV y PPR, más que con los equipos motorizados, se presenta una mayor probabilidad de exposición o contaminación de los EPP. Posiblemente, las gotas grandes o un volumen considerable de la mezcla asperjada, quedaron cerca al origen de la aspersión, es decir, con el operario, por lo tanto, las gotas fueron tomadas por los EPP".

Conviene indicar que una cosa es la contaminación del EPP y otra es la penetración del traje y posterior contacto con la piel del operario. En tal situación, como lo indican MacFarlane et al. (2013), no hay consenso en las investigaciones. Stewart et al. (1999) mencionan que se presenta una mayor penetración a través de la ropa con aplicaciones efectuadas por equipos que trabajan a bajas presiones (por ejemplo, equipos de palanca) que con equipos que operan a altas presiones; mientras que Machera et al. (2003) afirman lo opuesto. La protección de las diferentes partes del cuerpo debe garantizar la menor transferencia posible de insecticida a la piel del operario. En este sentido, se destaca que prendas normales como camisas, pantalones, zapatos y otras de trabajo, no deben considerarse como EPP cuando se aplican plaguicidas; los EPP deben confeccionarse con materiales resistentes,

sin orificios o desgarros, de tal forma que no permitan el contacto del plaguicida con el cuerpo humano (Fishel, 2018). La capacidad de las prendas de protección para proteger contra la exposición a plaguicidas está influenciada principalmente por el tipo de tejido, incluidos el grosor y el peso (Obendorf et al., 2003).

De acuerdo a las condiciones en las que se realizó la presente investigación, puede concluirse que todos los EPP son susceptibles de contaminación durante la actividad de la aspersión; sin embargo, cada EPP tiene un grado diferente de exposición.

Los resultados indican que, en las aspersiones para el control de la broca del café, la contaminación de los EPP está determinada en buena parte por su ubicación en el cuerpo del operario y por el tipo de equipo de aspersión.

Los equipos PPR+AV y PPR fueron los que ocasionaron la mayor contaminación sobre los trajes de los operarios.

En cuanto al grado de contaminación para cada EPP, independiente del equipo

de aspersión utilizado, los guantes y gorra sufrieron la mayor exposición al insecticida.

Este trabajo muestra la conveniencia del uso de EPP de buena calidad y en buen estado o la reevaluación del uso de algunos equipos de aspersión que producen alta contaminación en los trajes que protegen a los operarios. Sin embargo, no debe descuidarse la protección con equipos de menor impacto contaminante o EPP que tuvieron una reducida exposición como la careta y monografas.

El presente trabajo provee pautas para explorar nuevas tecnologías de aplicación de plaguicidas en el cultivo del café que reduzcan la contaminación en los operarios.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal de la Estación Experimental La Catalina; a los auxiliares de la disciplina de Entomología Juan Carlos Ortiz, Mauricio Jiménez y Diana Soraya Rodríguez. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número ENT1607.

## LITERATURA CITADA







- Airey, D. (1990). Protective clothing: A manufacturer's viewpoint. *Journal of Occupational Accidents*, 11(4), 269–275. [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90045-W](https://doi.org/10.1016/0376-6349(90)90045-W)
- Baharuddin, M. R. B., Sahid, I. B., Noor, M. A. B. Mohd., Sulaiman, N., & Othman, F. (2011). Pesticide risk assessment: A study on inhalation and dermal exposure to 2,4-D and paraquat among Malaysian paddy farmers. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46(7), 600–607. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.589309>
- Baldi, I., Lebailly, P., Jean, S., Rougetet, L., Dulaurent, S., & Marquet, P. (2006). Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 16(2), 115–124. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500443>
- Balloni, S., Caruso, L., Cerruto, E., Emma, G., & Schillaci, G. (2008, september 15-17). *A Prototype of Self-Propelled Sprayer to Reduce Operator Exposure in Greenhouse Treatment* [International Conference]. Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems, Ragusa, Italy. [http://www.ragusashwa.it/CD\\_2008/lavori/TOPIC3/orale/BALLONI-CERRUTO-SCHILLACI-3.pdf](http://www.ragusashwa.it/CD_2008/lavori/TOPIC3/orale/BALLONI-CERRUTO-SCHILLACI-3.pdf)
- Behmer, S. N., Di Prinzio, A. P., Magdalena, J. C., & Ayala, C. D. (1998). Exposición del operario durante



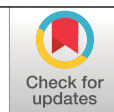
- la aplicación de productos fitosanitarios en fruticultura. En R. H. Balbuena, S. H. Benez, & D. Jorajuria (Eds.), *Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ámbito Latinoamericano* (pp. 208–213). Universidad Nacional de La Plata.
- Behmer, S. N., Di Prinzio, A. P., Magdalena, J. C., & Striebeck, G. L. (2001). Eficiencia de un equipo de protección personal para aplicaciones fitosanitarias en huertos frutales. *Agricultura Técnica*, 61(2), 221–228. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072001000200012>
- Benavides Machado, P., Gil Palacio, Z. N., Góngora Botero, C., & Arcila Moreno, A. (2013). Manejo integrado de plagas. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 179–214).
- Bulacio, L. G., Giuliani, S. L., Panelo, M. S., & Giolito, I. (2007). Seguridad en la aplicación de productos fitosanitarios en cultivos hortícolas y frutícolas. *Acta toxicológica argentina*, 15(1), 1–7. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ata/v15n1/v15n1a01.pdf>
- Bustillo-Pardey, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Fishel, F. (2018). *PI243 Equipo de Protección Personal para la Manipulación de Pesticidas*. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/PI243>
- Flórez, E., Bustillo-Pardey, A. E., & Montoya-Restrepo, E. C. (1997). Evaluación de equipos de aspersión para el control de *Hypothenemus hampei* con el hongo *Beauveria bassiana*. *Revista Cenicafé*, 48(2), 92–98.
- Gilbert, A. J., & Bell, G. J. (1990). Test methods and criteria for selection of types of coveralls suitable for certain operations involving handling or applying pesticides. *Journal of Occupational Accidents*, 11(4), 255–268. [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(90\)90044-V](https://doi.org/10.1016/0376-6349(90)90044-V)
- Jaramillo, A. (1982). Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Taller sobre roya del café Hemileia vastatrix Berk y Br.* (pp. 1–20). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/741>
- Jaramillo, A., & Gómez-Gómez, L. (1989). Microclima en cafetales a libre exposición solar y bajo sombrío. *Revista Cenicafé*, 40(3), 65–79.
- Lander, F., & Hinke, K. (1992). Indoor application of anticholinesterase agents and the influence of personal protection on uptake. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22(2), 163–166. <https://doi.org/10.1007/BF00213280>
- Leiva, P. D. (1997). *Productos fitosanitarios: Su correcto manejo*. INTA.
- MacFarlane, E., Carey, R., Keegel, T., El-Zaemay, S., & Fritschi, L. (2013). Dermal Exposure Associated with Occupational End Use of Pesticides and the Role of Protective Measures. *Safety and Health at Work*, 4(3), 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2013.07.004>
- Machado Neto, J. (1990). *Quantificação e controle da exposição dérmica de aplicadores de agrotóxicos na cultura estaqueada de tomate, na região de Cravinhos-SP*. [Tesis de Doctorado]. Universidade Estadual Paulista.
- Machera, K., Goumenou, M., Kapetanakis, E., Kalamarakis, A., & Glass, C. R. (2003). Determination of Potential Dermal and Inhalation Operator Exposure to Malathion in Greenhouses with the Whole Body Dosimetry Method. *The Annals of Occupational Hygiene*, 47(1), 61–70. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef097>
- Matthews, G. (1987). *Métodos para la aplicación de pesticidas*. Compañía Editorial Continental.
- Matthews, G. (2002). Operator exposure to pesticides. *Pesticide Outlook*, 13(6), 233–237. <https://doi.org/10.1039/b211168n>
- Medina-Escobar, M. L., Rodríguez-Zamora, M. G., & Zamora-Rodríguez, P. (2014). Comparación de métodos de exposición dermal a plaguicidas en una muestra de floricultores y productores de palmito y chayote en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 27, 5–21. <https://doi.org/10.18845/tm.v0i0.1651>
- Montoya, D. F., & Villalba Gault, D. A. (2013). Evaluación física de las aplicaciones con diferentes equipos de aspersión para el manejo de la broca. *Revista Cenicafé*, 64(2), 48–58. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/530>
- Nigg, H. N., Stamper, J. H., & Queen, R. M. (1986). Dicofol exposure to Florida citrus applicators: Effects of protective clothing. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 15(1), 121–134. <https://doi.org/10.1007/BF01055257>
- Nurulain, M. U., Syed Ismail, S. N., Emilia, Z. A., & Vivien, H. (2017). Pesticide application, dermal exposure risk

- and factors influenced distribution on different body parts among agriculture workers. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, 1, 123–132.
- Obendorf, S. K., Csiszár, E., Maneefuangfoo, D., & Borsa, J. (2003). Kinetic Transport of Pesticide from Contaminated Fabric Through a Model Skin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(2), 283–288. <https://doi.org/10.1007/s00244-003-0211-5>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Guías sobre buenas prácticas para la aplicación terrestre de plaguicidas*. FAO. <https://www.fao.org/3/Y2767S/Y2767S00.htm>
- Prinzio, A. di, Behmer, S., Magdalena, J., & Chersicla, G. (2010). Effect of pressure on the quality of pesticide application in orchards. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(4), 674–678. <https://www.chileanjar.cl/abstractms.php?cmd=ABSTRACT&lang=ENG&id=3607>
- Stewart, P. A., Fears, T., Kross, B., Ogilvie, L., & Blair, A. (1999). Exposure of farmers to phosmet, a swine insecticide. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 25(1), 33–38. <https://doi.org/10.5271/sjweh.380>
- Villalba-Gault, D. A. (2008). Tecnología de aplicación y equipos de aspersión de agroquímicos. En A. E. Bustillo (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 201–225). Cenicafé.
- Yarpuz-Bozdogan, N., & Bozdogan, A. M. (2009). Assessment of dermal bystander exposure in pesticide applications using different types of nozzles. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), 678–682. <https://www.wfpublisher.com/Abstract/2316>

# DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DEL CAFÉ TOSTADO POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (NIRS)

Claudia Rocío Gómez Parra \*, Claudia Patricia Gallego Agudelo \*, Luz Fanny Echeverri Giraldo \*, Jenny Pabón Usaquén \*, Aristóteles Ortiz \*\*, Valentina Osorio Pérez \*\*\*

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>



Se desarrolló un modelo de calibración para la determinación de 13 compuestos químicos en café tostado; a partir de 100 muestras de café almendra provenientes de diez departamentos productores de café, las muestras fueron tostadas en tres grados diferentes de colorimetría, de acuerdo a la escala Agrtron/SCA: 85 (Claro), 55 (medio) y 35 (oscuro), para un total de 300 muestras. A estas muestras se le determinaron por química analítica los alcaloides (cafeína, trigonelina y teobromina), azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), ácidos grasos libres (palmitico, linoleico, oleico, esteárico, araquídico), lípidos y ácidos clorogénicos totales. Los resultados evidencian los cambios químicos que se generan en el café almendra verde por el proceso de tostación para los compuestos estudiados. La prueba t-student se realizó para los datos de referencia y los estimados por el modelo desarrollado; los compuestos evaluados presentaron un p-valor mayor a 0,05 lo que indica que no hay diferencia entre los valores medios obtenidos mediante análisis por química analítica de referencia y los obtenidos por la tecnología NIRS, el error relativo de predicción para todos los compuestos fue menor a 0,02%. Los resultados indican que la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS, es una técnica confiable y reproducible para la determinación de los 13 compuestos químicos en café tostado.

**Palabras clave:** Tueste, espectro, predicción, calibración, química, café, Cenicafé.

## DETERMINATION OF CHEMICAL COMPOUNDS OF ROASTED COFFEE BY NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS)

A calibration model was developed to determine 13 chemical compounds of roasted coffee; 100 coffee samples from 10 coffee-producing departments were roasted in three different colorimetry degrees according to the Agrtron/SCA scale: 85 (light), 55 (medium), and 35 (dark) for a total of 300 samples. Alkaloids (cafféine, trigonelline, and theobromine), sugars (sucrose, glucose, and fructose), free fatty acids (palmitic, linoleic, oleic, stearic, arachidic), lipids, and total chlorogenic acids were determined from these samples by analytical chemistry. The results showed the chemical changes generated in the green coffee beans by the roasting process for the compounds studied. The t-student test was performed for reference and estimated data by the developed model; the evaluated compounds had a p-value greater than 0.05. This indicates that there is no difference between the mean values obtained by analytical chemistry and those obtained by NIRS technology; the relative prediction error for all compounds was less than 0.02%. The results indicated that NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) is a reliable and reproducible technique to determine the 13 chemical compounds in roasted coffee.

**Keywords:** Roast, spectrum, prediction, calibration, chemistry, coffee, Cenicafé.

\* Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-0685-8337>, <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055>, <https://orcid.org/0000-0002-9866-6147> y <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>

\*\* Investigador Científico I. Disciplina de Fisiología, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3242-1948>

\*\*\* Investigador Científico I. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>



La técnica de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), ha evolucionado en las últimas décadas considerándose hoy como una técnica analítica, precisa y reproducible para análisis cualitativo y cuantitativo en la industria agroalimentaria, farmacéutica, química y en otros sectores como en medicina y medio ambiente (Burns & Ciurczak, 2008; García Olmo, 2002; Williams & Norris, 1987). La técnica NIRS ha demostrado ser ideal para el análisis rápido o inmediato de una muestra, permitiendo en un tiempo, entre 2 y 3 minutos, el resultado de múltiples compuestos químicos o analitos de interés. Otras ventajas que ofrece es el bajo costo, la poca manipulación o transformación de la muestra, además no genera residuos peligrosos, lo que la convierte en una técnica amigable con el medio ambiente (García Olmo, 2002; Garrido, A., de la Roza, B., & Puigdomenech, A., 1999; Garrido-Varo et al., 2004; Perezmarín et al., 2007).

La espectroscopía de infrarrojo cercano se define como la medición de la longitud de onda e intensidad de la absorción de la luz infrarroja cercana, que realizan determinados componentes químicos de la muestra (Valenciaga et al, 2006). La luz infrarroja cercana comprende el rango de 700 a 2.500 nm y genera la energía suficiente para excitar sobretonos y combinaciones de vibraciones moleculares a altos niveles de energía. Se utiliza para medir grupos funcionales orgánicos, especialmente O-H, N-H y C=O (Givens, Boever, & Deaville, 1997; Valenciaga et al, 2006). Cuando la luz incide en la muestra, una parte de los fotones puede transmitirse a través de la misma, el resto es absorbida por los enlaces covalentes, que están acoplados con la frecuencia o longitud de onda exacta de la radiación lumínica (Cajarville et al., 2003; Mieres et al., 2000; Valenciaga et al, 2006). Al absorber energía, los enlaces de las moléculas vibran

cambiando el ángulo del enlace entre dos átomos; la absorción depende de los grupos moleculares y se estima con la diferencia entre la luz incidente y la reflejada o transmitida (Alomar & Fuchslocher, 1998; Bertrand & Dufour, 2006; García Olmo, 2002; Shenk et al., 1997; Valenciaga et al, 2006; Williams & Norris, 1987). La interacción de la energía con la materia obedece a la ley de Beer- Lambert-, la cual establece que la absorbancia, a cualquier longitud de onda, es proporcional a la concentración de las moléculas absorbentes presentes (Alomar & Fuchslocher, 1998; Cozzolino et al., 2003).

La aplicación más utilizada de la técnica NIRS es la determinación de compuestos químicos, para ello se desarrollan modelos de calibración o de predicción. La calibración puede definirse como el desarrollo de un modelo quimiométrico que relaciona los datos espectrales de las muestras con los valores del compuesto o analito obtenido con los métodos de referencia (Garrido et al., 1997; Garrido-Varo et al., 2004; Shenk et al., 1997; Perezmarín et al., 2007). Para el desarrollo del modelo de calibración es determinante la selección de muestras que construyan el colectivo de calibración, pues estas deben garantizar una amplia variabilidad, tanto espectral como química, y estar conformada por un número de muestras significativo; estos aspectos deben asegurar la capacidad de predicción del modelo (Isaksson & Næs, 1988; Shenk et al., 1997; Perezmarín et al., 2007). Adicionalmente, la composición química obtenida en los análisis de referencia es fundamental, debido a que es la base que permitirá hacer las predicciones en otras muestras; razón por la cual deben utilizarse metodologías analíticas validadas y estandarizadas por instituciones internacionales como la Association of Analytical Communities–AOAC e International Organization for Standardization- ISO (Shenk et al, 1997; Perezmarín et al., 2007).

Para el desarrollo de los modelos de calibración y validación se requiere el uso de la quimiometría, la cual ha sido definida como la disciplina de la química analítica que, mediante el uso de métodos estadísticos y matemáticos, diseña o selecciona procedimientos óptimos de medida para obtener la máxima información química relevante a partir de datos químicos (Deming et al., 1988; García Olmo, 2002). Las herramientas quimiométricas empleadas con mayor frecuencia en el análisis NIRS son los métodos de análisis multivariante, que sirven para estimar cualquier propiedad física o química de la muestra, a partir de múltiples variables espectrales como lo son los valores de absorbancia a diferentes longitudes de onda (García Olmo, 2002; Garrido-Varo et al., 2004; Martens & Næs, 1992; Perezmarín et al., 2007).

Los modelos cuantitativos, explicados de una forma simple, permiten estimar la concentración de un analito en una determinada muestra. Esta implica el desarrollo de una ecuación matemática, mediante el establecimiento de una relación entre los valores espectrales con aquellos de los métodos de referencia (Shenk et al, 1997). Un factor importante para el desarrollo de los modelos es la dispersión de la radiación incidente, denominada efecto scatter (Bertrand & Dufour, 2006; Burns & Ciurczak, 2008; Osborne et al., 1993); esto se genera debido principalmente a aspectos físicos de la muestra como la textura, el tamaño y la geometría de las partículas que conforman (García Olmo, 2002; Iwamoto, 1991). Para realizar la corrección se han generado diferentes métodos quimiométricos con el nombre de tratamientos de corrección scatter (Bertrand & Dufour, 2006).

Los compuestos químicos contemplados en esta investigación fueron establecidos por su importancia y efecto en la calidad sensorial del café, la cual está condicionada por las

características químicas del café verde y las cuales son transformadas en el proceso de tostación (De Luca et al., 2016; Osorio et al., 2021; Puerta & Echeverri, 2019; Vitorino et al., 2001). La principal reacción que ocurre en el proceso de tueste es la de Maillard, que influye en la formación de aromas (Avelino et al., 2015); en donde los azúcares reductores (glucosa, fructosa, lactosa y maltosa) se degradan en la tostación y reaccionan con los aminoácidos creando las melanoidinas (pigmento marrón), que da color y sabor al café. Con relación a los cambios en la composición química del café almendra verde a café tostado, diferentes autores reportan que la cafeína y los ácidos grasos permanecen constantes, los polisacáridos, la sacarosa, glucosa, fructosa, la trigonelina, ácido cítrico, málico, oxálico y los ácidos clorogénicos se degradan, y los lípidos totales aumentan (Osorio et al., 2021; Puerta & Echeverri, 2019; Vitorino et al., 2001).

Esta investigación desarrolló el modelo de predicción para 13 compuestos químicos del café tostado mediante la técnica de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) teniendo como base muestras con tres puntos diferentes de tueste y su respectiva composición química determinada por métodos analíticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron 100 muestras procedentes de Antioquia, Caldas, Cauca, Cesar, Huila, La Guajira, Magdalena, Nariño, Santander y Tolima. Cada muestra se dividió en tres submuestras. La primera muestra de café almendra verde se utilizó para determinar trece compuestos químicos por métodos de referencia; la segunda, se analizó en el equipo NIRS XDS; la tercera, se dividió para tostarla en tres grados, de acuerdo a la escala SCA, 85 Agtron (Claro), 55 Agtron (medio) y 35 Agtron (oscuro), que corresponden a una

luminosidad de 22,0\*L, 18,5\*L y <18,5\*L, respectivamente (ICONTEC 2442, s. f.).

Las muestras de café almendra verde se procesaron en una tostadora Probat BRZ2 eléctrica de muestras, con una temperatura inicial de 200°C. La duración se definió por el color requerido, según la referencia de la escala Agtron/SCA, en un rango de tiempo entre 8-12 minutos, que permitió establecer los tres grados de tueste definidos para la investigación, sin que las muestras presentaran defectos por el tueste. Durante el proceso, se le realizó una comparación visual de las muestras de café con un patrón de color obtenido de la paleta de colores (Carta Agtron/SCA), que es un patrón de desarrollo de la tostación que se basa en la caramelización del azúcar. Al finalizar el tueste, se midió la reflectancia de las muestras en grano y molienda fina, con un espectrofotómetro de reflectancia visible marca Quantik, modelo IR800 RCA (400–700 nm), para establecer valores de color precisos para cada grado de tueste a las 300 muestras (Rincón & Cano, 2010).

Una vez obtenidas las muestras tostadas, estas se dividieron en dos submuestras para analizarlas por química analítica para la determinación de los trece compuestos químicos y analizarlas por NIRS. En total, se analizaron por los dos métodos (analítico y NIRS) 100 muestras en café almendra verde y 300 muestras de café tostado, en tres grados de tueste. Los análisis se realizaron en los laboratorios de la disciplina de Calidad de Cenicafé. En la Tabla 1 se presentan los métodos de referencia utilizados para la determinación de los compuestos químicos.

En el laboratorio de instrumental de Cenicafé se realizó el análisis por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano–NIRS, en el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS, en un rango de longitud de onda de 400 a 2.490 nm. Se tomaron 800 lecturas, para cada muestra se pesaron 110 g de café en grano entero (almendra verde y tostado), que se colocaron en dos celdas para reflectancia de transporte, rectangular, de 16 cm de largo, 5cm de ancho

**Tabla 1.** Variables y metodologías empleadas para la determinación de los 13 compuestos químicos.

<b>Compuestos químicos</b>	<b>Metodología</b>	<b>Técnica /equipo</b>
Alcaloides (cafeína, trigonelina y teobromina)	ISO 20481:2008.	Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de arreglo de diodos (PDA)
Azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa)	Waters Application Notes: Analisis of sugars LAH-0210	Cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) acoplada a un detector de índice de refracción
Lípidos totales	Método AOAC 963.15	Gravimétrico Soxhlet
Ácidos grasos (palmítico, linoleico, oleico, esteárico, aráquidico)	AOAC 969.33	Cromatografía de gases (GC) acoplada a un detector selectivo de masas (MSD)
Ácidos clorogénicos totales	AOAC 2003.05	Espectrofotometría (UV/VIS)

y 5 cm de alto. De las 300 muestras de café tostado se seleccionaron de forma aleatoria 244 muestras para el desarrollo del modelo (Tabla 2) y se reservaron 56 muestras para la validación externa, conformadas de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Distribución de las muestras para el modelo y para la validación cruzada.

<b>Grado de tueste</b>	<b>Modelo N°</b>	<b>Validación N°</b>
<b>85 Agtron</b>	82	19
<b>55 Agtron</b>	80	18
<b>35 Agtron</b>	82	19
<b>Total</b>	<b>244</b>	<b>56</b>

El análisis estadístico de la información química se realizó a partir del análisis de varianza (ANOVA) y el análisis descriptivo, con intervalos de confianza del 95%. La información espectral y el desarrollo de los modelos de calibración se realizó con el software WinISI (versión 4 Foss Infrasoftware International, USA) incorporado en el equipo. La validación del modelo se realizó por dos vías; una interna con el software WinISI, comparando los valores de referencia con los valores predichos por el NIRS, el resultado de la validación se determinó por el valor del error estándar de predicción EEP, el cual debe ser cercano a cero; la segunda validación se realizó de forma externa utilizando las 56 muestras reservadas para este fin, las cuales fueron analizadas por el modelo, el resultado fue evaluado por la prueba estadística t Student y se determinó el error relativo de predicción, el cual establece la diferencia de los valores predichos y los valores reales expresado en porcentaje.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química

La composición química obtenida a partir de los métodos de referencia para los 13 compuestos químicos determinados en el café almendra verde y el café tostado, en los tres grados de tueste, se encuentra detallada en la Tabla 3; posteriormente se describen los resultados más relevantes y el comportamiento observado.

**Fracción lipídica.** Los lípidos y los ácidos grasos libres componen la fracción lipídica y contribuyen al transporte de aromas y sabores (Echeverri-Giraldo et al., 2020; Figueiredo et al., 2015). La fracción lipídica del café está compuesta en mayor proporción por los ácidos grasos palmítico y linoleico, en menor concentración los ácidos esteárico, oleico, araquídico y behénico, y algunas trazas de mirístico, linoleico y lignonocérico (Echeverri-Giraldo et al., 2020; Folstar et al., 1977; Speer et al., 1993). La mayor parte de los lípidos que contiene la almendra del café no se degradan durante la tostación (Echeverri-Giraldo et al., 2020; Osorio et al., 2021; Puerta & Echeverri, 2019).

El contenido de lípidos se incrementa a medida que aumenta el grado de tueste, principalmente debido a la pérdida de volátiles y a la degradación de los carbohidratos (Dias et al., 2014); con valores promedio para el café-verde de 11,7% a 14,7% para el café tostado 35 Agtron/SCA. El análisis de varianza indica que no hay diferencias en el contenido de lípidos entre el café almendra y el grado de tueste más claro (85 Agtron) pero sí entre el grado de tueste medio (55 Agtron) y alto (35 Agtron) (Figura 1). En cuanto al contenido de lípidos para café almendra verde se han reportado valores de 11,1%,

**Tabla 3.** Contenido mínimo, máximo, media, desviación media absoluta (% bh) y resultados del análisis de varianza por compuesto químico respecto a la matriz de café.

<b>Compuesto químico</b>	<b>Matriz</b>	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>	<b>Media (%)</b>		<b>Desviación absoluta media</b>
Lípidos totales	Verde	7,7	15,2	11,7	C	1,045
	85 Agtron	8,1	16,1	11,4	C	1,201
	55 Agtron	9,4	17,1	13,2	B	1,054
	35 Agtron	9,5	18,9	14,7	A	1,139
Cafeína	Verde	0,5	1,5	1,1	B	0,116
	85 Agtron	1,1	1,8	1,5	A	0,102
	55 Agtron	1,1	1,8	1,5	A	0,115
	35 Agtron	0,9	1,9	1,4	A	0,134
Trigonelina	Verde	0,02	1,4	0,6	C	0,301
	85 Agtron	0,8	1,4	1,0	A	0,085
	55 Agtron	0,7	1,3	1,0	A	0,088
	35 Agtron	0,4	1,1	0,8	B	0,096
Teobromina	Verde	0,01	1,1	0,2	A	0,310
	85 Agtron	0,04	0,1	0,1	B	0,011
	55 Agtron	0,05	0,1	0,1	B	0,010
	35 Agtron	0,05	0,1	0,1	B	0,012
Ácidos clorogénicos totales	Verde	1,8	4,5	3,5	A	0,409
	85 Agtron	0,1	3,3	1,8	B	0,644
	55 Agtron	0,2	2,5	1,4	C	0,565
	35 Agtron	0,1	3,0	1,2	D	0,389
Ácido graso palmítico	Verde	37,8	47,9	43,3	A	1,698
	85 Agtron	37,6	47,3	42,3	B	1,463
	55 Agtron	37,7	47,5	41,9	B	1,487
	35 Agtron	37,0	47,6	42,3	B	1,713

Continúa...



...continuación.

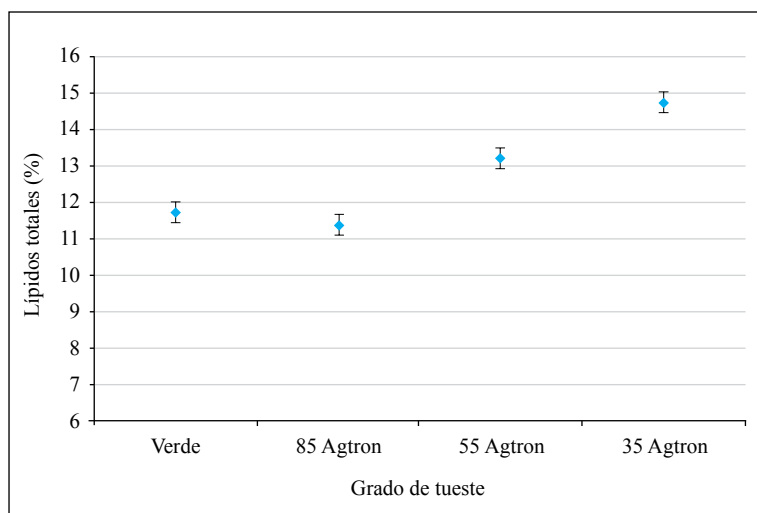
<b>Compuesto químico</b>	<b>Matriz</b>	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>	<b>Media (%)</b>		<b>Desviación absoluta media</b>
Ácido graso linoleico	Verde	28,8	40,4	34,5	B	1,825
	85 Agtron	31,5	39,6	36,0	A	1,410
	55 Agtron	31,9	40,4	36,3	A	1,473
	35 Agtron	31,4	40,2	36,0	A	1,534
Ácido graso oleico	Verde	7,0	12,0	9,7	B	0,644
	85 Agtron	8,0	12,1	10,1	AB	0,684
	55 Agtron	7,4	12,1	10,1	A	0,709
	35 Agtron	7,6	12,0	9,9	AB	0,746
Ácido graso esteárico	Verde	6,5	10,7	8,4	A	0,698
	85 Agtron	6,3	10,4	8,0	B	0,794
	55 Agtron	6,3	10,4	8,0	B	0,850
	35 Agtron	6,2	10,6	8,0	B	0,844
Ácido graso araquídico	Verde	2,2	6,1	4,0	A	0,656
	85 Agtron	2,1	6,7	3,7	AB	0,765
	55 Agtron	2,2	6,6	3,7	B	0,749
	35 Agtron	2,3	6,9	3,7	B	0,743
Sacarosa	Verde	5,2	8,92	7,2	A	0,708
	85 Agtron	0,2	1,9	0,77	B	0,356
	55 Agtron	0,1	0,74	0,23	C	0,091
	35 Agtron	0,07	0,41	0,042	D	0,058
Glucosa	Verde	0,0	0,12	0,01	A	0,016
	85 Agtron	0,0	0,41	0,12	B	0,076
	55 Agtron	0,0	0,52	0,018	B	0,028
	35 Agtron	0,0	0,10	0,004	B	0,007
Fructosa	Verde	0,0	0,22	0,02	A	0,024
	85 Agtron	0,0	0,56	0,10	B	0,085
	55 Agtron	0,0	0,73	0,04	B	0,057
	35 Agtron	0,0	0,18	0,03	B	0,043

11,5% y 9,4%, por Villarreal et al. (2014), Echeverri-Giraldo et al. (2020) y Puerta & Echeverri (2019), respectivamente. Para café tostado los contenidos de lípidos obtenidos en esta investigación se encuentran en los rangos referenciados por Osorio et al. (2021).

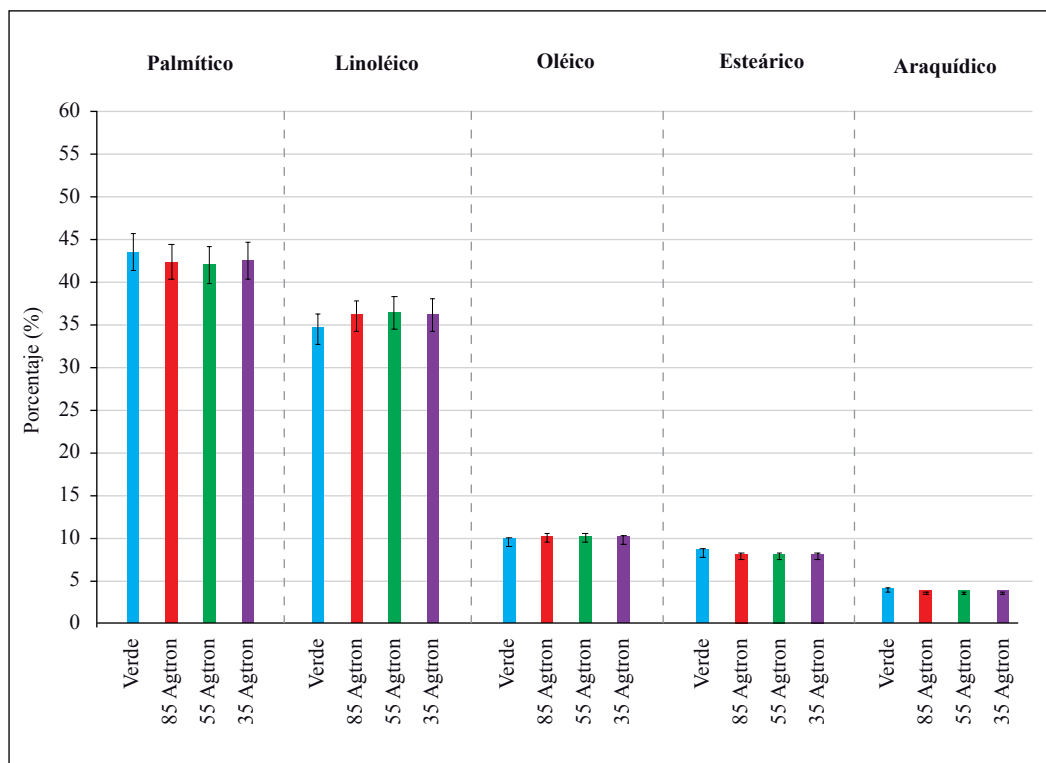
En la fracción lipídica del café almendra verde y en café tostado, el ácido graso palmítico es el más abundante, seguido del linoleico. Los valores promedio obtenidos para café almendra verde fueron de 43,3% y 34,5%, respectivamente (Figura 2), que se encuentran dentro de los reportados por Echeverri et al. (2020). Los valores obtenidos para los ácidos grasos oleico (10,1%), esteárico (8,0%) y araquídico (3,7%) se encuentran en los rangos referenciados por otros autores, con valores promedio en el mismo orden de 11,4%, 8,9% y 4,4% (Puerta & Echeverri, 2019; Villarreal et al., 2014). Para los ácidos grasos libres se observó que, con el proceso de tostación del café verde, los ácidos linoleico y oleico tienden a aumentar su contenido, mientras que la tendencia de los ácidos grasos palmítico, esteárico y araquídico es a disminuir; en ambos casos se observan diferencias significativas

entre los contenidos del café verde almendra y los diferentes grados de tueste (Figura 2).

**Alcaloides.** En el café, el principal constituyente de los alcaloides es la cafeína, seguida de la trigonelina y la teobromina. Se ha reportado que la cafeína contribuye solo con el 10% del amargor percibido en la bebida del café (Ky et al., 2001; Osorio et al., 2021; Puerta & Echeverri, 2019). Con relación a la reacción en el proceso de tueste, se ha observado que la cafeína y la teobromina son compuestos relativamente estables, es decir, no se degradan a altas temperaturas, mientras que la trigonelina sí lo hace (Gómez et al., 2021; Osorio et al., 2021; Puerta & Echeverri, 2019; Villegas et al., 2015). Los contenidos promedio obtenidos en el café almendra verde fueron para cafeína de 1,1% y trigonelina de 0,6%, mientras que para el café tostado (55 Agtron) los valores fueron de 1,5% de cafeína y 1,0% de trigonelina (Tabla 3), contenidos dentro de los rangos referenciados por Villegas et al. (2015), que reportaron 1,25% para cafeína y 0,9% para trigonelina en la café almendra y para el café tostado 1,2% de cafeína y 0,6% de trigonelina.



**Figura 1.** Contenido de lípidos totales por grado de tueste.



**Figura 2.** Composición de ácidos grasos en la fracción lipídica del café almendra verde y el café tostado en tres grados de tueste.

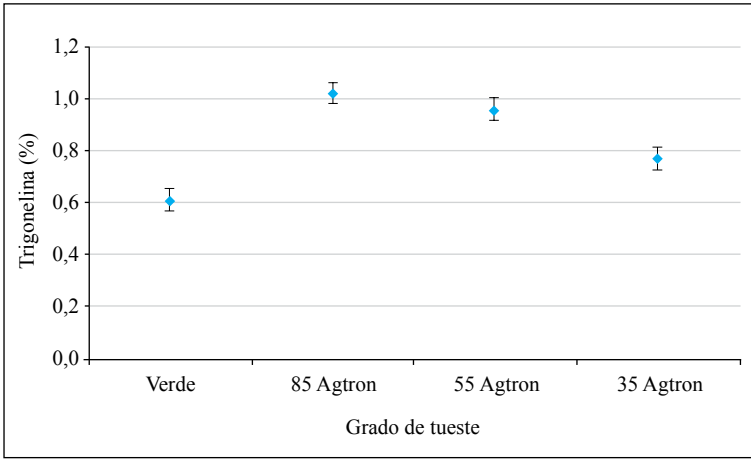
**Azúcares.** La hidrólisis de la sacarosa genera su degradación (Figura 4), formando azúcares reductores como la glucosa y la fructosa (Ginz et al., 2000; Osorio et al., 2021). Para la sacarosa, la glucosa y la fructosa, se observa que a medida que aumenta el grado de tueste estos compuestos se degradan. El contenido promedio de sacarosa para el café verde fue de 7,2% y se redujo a 0,042% para el grado de tueste de 35 Agtron (Tabla 3).

**Ácidos clorogénicos totales.** Son considerados precursores del sabor y de los pigmentos del café tostado (Marín & Puerta, 2008; Moreira et al., 2001; Torres et al., 2005). El contenido de ácidos clorogénicos totales

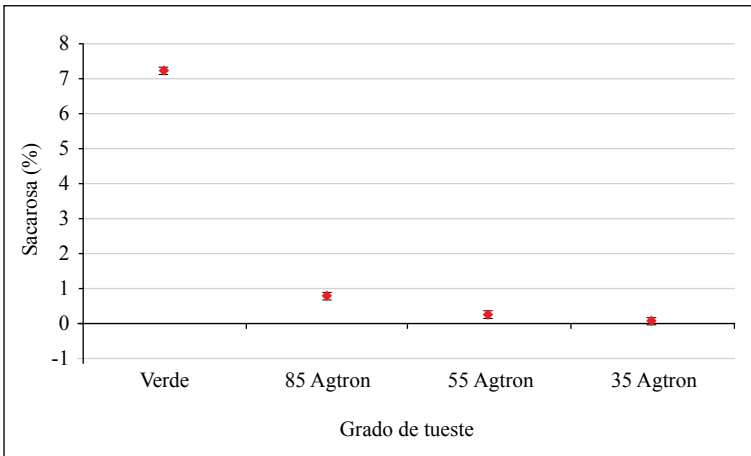
se degrada con el aumento en el grado de tueste, con valores promedio para el café verde almendra de 3,5% y para el grado de tueste 35 Agtron de 1,2% (Tabla 3).

### Resultados del modelo de predicción química para café tostado

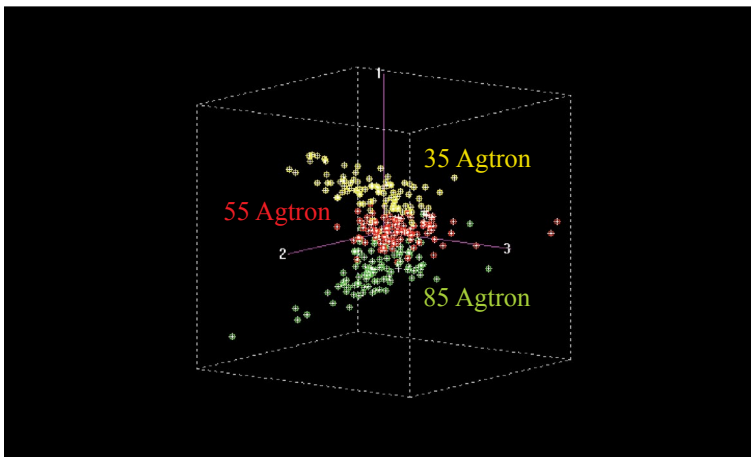
**Desarrollo de los modelos de calibración.** A las muestras de café tostado se les realizó el análisis de componentes principales PCA, el cual mejoró el ruido espectral. Se identificaron dos muestras atípicas o *outliers*, las cuales fueron separadas del colectivo de muestras de calibración. El análisis también discriminó las muestras por grado de tueste (Figura 5).



**Figura 3.** Contenido de trigonelina por grado de tueste.



**Figura 4.** Contenido de sacarosa por grado de tueste.



**Figura 5.** Análisis discriminante por componentes principales.

Con las muestras (tres grados de tueste) se desarrollaron los modelos de calibración para la determinación de 13 compuestos químicos de café tostado; es importante resaltar que los modelos de calibración se realizaron por compuesto químico, es decir, de forma independiente. En la Tabla 4 se presentan los parámetros matemáticos utilizados para cada uno. Los modelos se desarrollaron a partir de la regresión de mínimos cuadrados parciales PLS y mínimos cuadrados parciales modificados MLPS, los cuales constituyen unos factores que seleccionan de tal forma que explican el mayor porcentaje de variabilidad tanto en los datos espectrales como en los datos de composición química (Shenk et al., 1997). Adicionalmente, se realizó el pretratamiento de datos con corrección *scatter*, utilizado para el desarrollo de los modelos de la investigación y con los cuales cuenta el software quimiométrico WinISI 4.0; los correctores son: standard normal variate-SVN, Drend-DT, multivariada scatter correction-MS-C y tratamiento matemático primera y segunda derivada, que de forma general reducen el efecto del tamaño de partícula, simplifican la corrección entre los datos espectrales en las diferentes longitudes de onda, corrigen la línea base del espectro, eliminan la curvatura lineal y cuadrática de cada espectro que puede generarse por la presión del empaque, entre otros (García Olmo, 2002; Isaksson & Næs, 1988; Osborne et al., 1993; Barnes et al., 1994, Dhanoa & Lister, 1994).

En la Tabla 5, por compuesto químico, se observan los indicadores estadísticos de predicción, que garantizan la eficiencia y exactitud en la predicción de los compuestos químicos determinados, estos son: promedio, desviación estándar SD, valor mínimo estimado (Est. mín), valor máximo estimado (Est. máx), error estándar de calibración SEC, coeficiente de determinación RSQ, error estándar de validación cruzada -SEVEC y 1-coeficiente de determinación de la validación cruzada 1-VR.

Para café tostado los compuestos a los cuales se les han realizado curvas de calibración y que con mayor frecuencia se encuentran referenciados son la cafeína, trigonelina, lípidos totales y los ácidos clorogénicos, utilizando principalmente como parámetro estadístico el coeficiente de determinación (RSQ), con un valor cercano a 1,0, y el error estándar de calibración (SEC), con un valor cercano a 0 y una alta eficiencia de los modelos (Adnan et al., 2020; Pizarro et al., 2007; Shan et al., 2014, 2017; Villegas H. et al., 2015), parámetros que coinciden con los obtenidos en los modelos desarrollados en esta investigación. Para seleccionar el modelo de calibración deben analizarse en conjunto los parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación (RSQ), error estándar de calibración (SEC) y error estándar de validación cruzada (Alomar et al., 2003; Molano et al., 2016; Solís et al., 2001; Vásquez et al., 2004), criterios que fueron tenidos en cuenta en los modelos presentados en la Tabla 4.

#### **Validación de los modelos de calibración.**

Se realizaron tres tipos de validación para corroborar la eficiencia de los modelos de predicción; el primero con el software WinISI, un segundo análisis con la prueba estadística t-student y el tercer análisis se estableció el error relativo de predicción.

**Validación con el Software WinISI.** En la Tabla 6 se encuentran relacionados, por compuesto químico, los indicadores estadísticos obtenidos para las muestras utilizadas en validación donde se destaca:

- Error de sesgo o Bias. Es la diferencia entre la predicción esperada del modelo y los valores verdaderos (laboratorio). Cuando los valores son negativos indica que el valor predicho por el modelo tiende a ser menor que el valor de laboratorio, resultado observado para los compuestos trigonelina,

**Tabla 4.** Parámetros matemáticos de los modelos predictivos de compuestos químicos de café tostado.

Descripción	Parámetros				
	Cafeína	Teobromina	Trigonelina	Sacarosa	Fructosa
Regresión	PLS	PLS	PLS	MLPS	MLPS
Corrección Scatter	Derivative, Remove scale and offset	SNV and DET Regression	MMSC Regression	SNV and DET Regression	Derivative, Remove scale and offset
Tratamiento matemático	2,5,4,1	1,4,4,1	2,5,5,1	1,4,4,1	1,4,4,1
Longitud de onda	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8
	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8
Descripción	Parámetros				
	Glucosa	Ácidos clorogénicos totales	Lípidos totales	Ácido graso esteárico	Ácido graso Araquídico
Regresión	MLPS	MLPS	MLPS	MLPS	MLPS
Corrección Scatter	Derivative, Remove scale and offset	SNV Regression	MMSC Regression	Derivative, Remove scale and offset	Derivative, Remove scale and offset
Tratamiento matemático	1,4,4,1	1,4,4,1	1,4,4,1	2,6,4,1	2,6,4,1
Longitud de onda	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8
	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8
Descripción	Parámetros				
	Ácido graso palmítico	Ácido graso linoléico	Ácido graso oleico		
Regresión	MLPS	MLPS	MLPS		
Corrección Scatter	Derivative, Remove scale and offset	Derivative, Remove scale and offset	Derivative, Remove scale and offset		
Tratamiento matemático	1,5,5,1	2,6,4,1	2,4,4,1		
Longitud de onda	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8		
	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8		

sacarosa, glucosa, fructosa y ácidos grasos esteárico, araquídico y palmítico con valores desde 0,001 a 0,100.

- Error estándar de calibración SEC. El error estándar de calibración indica la diferencia media entre los valores del laboratorio y los valores calculados por la ecuación, este valor debe ser menor a 1,0; condición que se cumple en 11 de los compuestos, el ácido palmítico y el linoleico presentan valores de 1,9 y 1,4 respectivamente.
- Error estándar de predicción SEP y el SEP(C). El primero permite conocer la precisión y el segundo la exactitud del modelo, el valor debe ser menor a 1,0. Estos presentan igual comportamiento que el SEC, los resultados indican que para 11 de los compuestos se cumple la condición y los dos restantes son coincidentes con los ácidos grasos reportados anteriormente.
- Coeficiente de determinación RSQ. Describe la relación lineal entre los datos de referencia y los obtenidos por el modelo; sin embargo, en el caso de la técnica NIRS este indicador ha sido analizado por diferentes autores, concluyendo que la no linealidad que puede presentarse puede deberse a factores como la concentración del analito, la dispersión de la fuente de luz o el detector, por eso recomiendan analizar en conjunto todos los parámetros (Garrido, de la Roza, & Puigdomenech, 1999; Perezmarín et al., 2007).
- Valores promedio. Los valores promedio obtenidos por ambos métodos no presentan diferencias significativas entre ellos, para algún compuesto químico.
- Desviación estándar SD de predicción y del laboratorio. Los mayores valores los

presentaron los lípidos totales y los ácidos grasos palmítico, linoleico y oleico.

**Validación con prueba t-student.** La prueba t-student compara los dos métodos independientes/bilateral (Hurtado & Silvente, 2012; Rubio Hurtado & Berlanga, 2012) para los resultados obtenidos por química analítica y los predichos por NIRS, en la Tabla 6 se encuentran detallados los resultados.

Para la interpretación de la prueba se estableció:

- H0: La diferencia entre las medias es igual a 0.
- Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Cuando el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación alfa ( $\alpha$ )=0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula H0. Para los 13 compuestos los resultados indican que no hay diferencias estadísticas entre las medias de los valores obtenidos por el laboratorio y los obtenidos por NIRS como se observa en la Tabla 7.

**Determinación del error relativo de predicción.** El error relativo se usa como una medida de precisión, y sirve para tener una idea de lo cierta que puede llegar a ser una medida. El error relativo determinado para los 13 compuestos confirma la precisión del modelo con valores de 0,002% a 0,150%; el ácido graso linoleico presentó el mayor error relativo de predicción de 5,6% (Tabla 7). Las normas de buenas prácticas de laboratorio (Barge et al., 1992) indican que el error relativo no debe ser mayor a 6,0% ( $\pm 1$ ) dependiendo del método, con ese resultado se confirma que la técnica NIRS puede ser utilizada para la predicción de estos compuestos.

**Tabla 5.** Indicadores estadísticos de los modelos de calibración para 13 compuestos químicos.

<b>Descripción</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Est. mín</b>	<b>Est. máx</b>	<b>SEC</b>	<b>RSQ</b>	<b>SEVEC</b>	<b>1-VR</b>
Cafeína	1,4632	0,1285	1,0776	1,8487	0,0912	0,9964	0,1120	0,2374
Teobromina	0,0693	0,0137	0,0283	0,1103	0,0105	0,4140	0,0111	0,3378
Trigonelina	0,9212	0,1469	0,4804	1,3619	0,0627	0,8181	0,0766	0,7267
Sacarosa	0,4011	0,3471	0,00	1,4424	0,1005	0,9161	0,1231	0,8734
Fructosa	0,0864	0,0541	0,00	0,2487	0,0295	0,7034	0,0341	0,5997
Glucosa	0,1180	0,0841	0,00	0,3703	0,0306	0,8677	0,0402	0,7685
Ácidos clorogénicos totales	1,5525	0,6689	0,00	3,5591	0,3676	0,8980	0,4226	0,5989
Lípidos totales	13,0503	0,7153	7,7153	18,3853	0,6967	0,8465	0,7951	0,7992
Ácido graso esteárico	8,0159	0,9826	5,0681	10,9638	0,5525	0,8838	0,6298	0,5874
Ácido graso araquídico	3,6622	0,8101	1,2319	6,0925	0,4832	0,6443	0,5580	0,5236
Ácido graso palmítico	41,9023	1,7544	36,6390	47,1657	1,4617	0,3059	1,5311	0,2349
Ácido graso linoléico	36,1830	1,7524	30,9257	41,4403	1,2554	0,4868	1,4227	0,3380
Ácido graso oleico	10,0814	0,8112	7,6476	12,5151	0,6483	0,3614	0,7477	0,1467



**Tabla 6.** Resultados de la validación cruzada y los indicadores estadísticos por compuesto químico generados por el software WinISI.

Descripción	Parámetros matemáticos												
	Cafeína	Teobromina	Trigonelina	Sacarosa	Fructosa	Glucosa	Ácidos clorogénicos totales	Lípidos totales	Ácido graso esteárico	Ácido graso araquídico	Ácido graso palmítico	Ácido graso linoleico	Ácido graso oleico
Nº	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
<b>Pendiente</b>	0,816	0,658	0,928	1,004	0,878	0,662	1,231	0,854	0,893	1,155	0,265	0,846	0,984
<b>Intercept</b>	0,295	0,024	0,065	0,003	-0,002	0,022	-0,019	1,894	0,832	-0,602	30,847	5,582	0,075
<b>Bias</b>	0,026	0,001	-0,001	-0,001	-0,012	-0,03	0,003	0,02	-0,019	-0,02	-0,127	0,003	-0,087
<b>SEC</b>	0,125	0,014	0,081	0,096	0,034	0,048	0,062	0,871	0,645	0,542	1,9	1,402	0,899
<b>SEP</b>	0,127	0,015	0,08	0,093	0,035	0,066	0,062	0,91	0,639	0,543	2,136	1,391	0,886
<b>SEP (C)</b>	0,126	0,015	0,081	0,095	0,034	0,06	0,063	0,918	0,645	0,548	2,152	1,404	0,89
<b>RSQ</b>	0,902	0,617	0,768	0,949	0,694	0,714	0,882	0,822	0,791	0,691	0,038	0,404	0,237
<b>Predicción promedio</b>	1,465	0,069	0,904	0,42	0,085	0,154	0,091	12,824	7,986	3,747	42,137	36,34	9,992
<b>Promedio real</b>	1,491	0,07	0,903	0,419	0,073	0,124	0,094	12,843	7,967	3,727	42,01	36,342	9,905
<b>SD predicción</b>	0,124	0,011	0,158	0,406	0,057	0,112	0,059	1,172	0,859	0,695	1,42	1,35	0,504
<b>SD real</b>	0,16	0,016	0,167	0,418	0,06	0,088	0,095	1,045	0,998	0,966	1,919	1,799	1,019

**Tabla 7.** Indicadores estadísticos de la prueba t–student y el error relativo de predicción.

<b>Descripción</b>	<b>Método</b>	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Máximo (%)</b>	<b>Media (%)</b>	<b>P-Valor</b>	<b>Error relativo de predicción (%)</b>
Cafeína	Laboratorio	1,02	1,79	1,49	0,500	0,017
	NIRS	1,24	1,83	1,47		
Teobromina	Laboratorio	0,040	0,12	0,07	0,437	0,031
	NIRS	0,040	0,09	0,07		
Trigonelina	Laboratorio	0,40	1,34	0,91	0,906	0,004
	NIRS	0,38	1,21	0,91		
Sacarosa	Laboratorio	0,08	2,69	0,47	0,808	0,05
	NIRS	0,05	1,74	0,44		
Fructosa	Laboratorio	0,01	0,37	0,09	0,918	0,17
	NIRS	0,01	0,21	0,09		
Glucosa	Laboratorio	0,02	0,30	0,12	0,353	0,23
	NIRS	0,01	0,45	0,15		
Ácidos clorogénicos totales	Laboratorio	0,10	0,37	0,094	0,0868	0,023
	NIRS	0,10	0,21	0,092		
Lípidos totales	Laboratorio	8,09	17,77	13,07	0,642	0,014
	NIRS	7,66	17,15	12,88		
Ácido graso esteárico	Laboratorio	6,27	10,36	8,00	0,913	0,002
	NIRS	6,35	10,28	7,99		
Ácido graso araquídico	Laboratorio	2,27	6,69	3,78	0,769	0,13
	NIRS	2,06	5,41	3,73		
Ácido graso palmítico	Laboratorio	37,02	45,86	42,01	0,696	0,003
	NIRS	38,60	46,32	42,14		
Ácido graso linoléico	Laboratorio	32,56	40,16	36,34	0,995	0,0005
	NIRS	32,32	39,09	36,34		
Ácido graso oleico	Laboratorio	7,56	12,00	9,86	0,35	0,15
	NIRS	11,4	11,40	10,01		

En este estudio puede concluirse que los compuestos químicos del café tostado evaluados y determinados por diferentes métodos químicos se encuentran dentro de los rangos referenciados por diferentes autores, verificando que el proceso de tostación tiene un efecto en la composición química en estos 13 compuestos estudiados, presentándose la mayor diferencia entre el café verde almendra y el grado de tueste más alto (Agtron 35). Los modelos de calibración química desarrollados para los 13 compuestos químicos cumplen con los parámetros analíticos, confirmando que es una técnica confiable y reproducible para la determinación de estos compuestos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Gerencia Técnica, la Dirección de Cenicafé, los Comités Departamentales de Cafeteros y al Servicio de Extensión; en la Disciplina de Biometría a Rubén Medina; en la Disciplina de Calidad a Paola Calderón y Wilson Vargas, Víctor Castañeda y al personal de apoyo Anderson Arias. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número CAL104011.




## LITERATURA CITADA

- Adnan, A., Naumann, M., Mörlein, D., & Pawelzik, E. (2020). Reliable Discrimination of Green Coffee Beans Species: A Comparison of UV-Vis-Based Determination of Caffeine and Chlorogenic Acid with Non-Targeted Near-Infrared Spectroscopy. *Foods*, 9(6), 788. <https://doi.org/10.3390/foods9060788>
- Alomar, D., & Fuchslocher, R. (1998). Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes. *Agro Sur*, 26(1), 88–104. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1998.v26n1-11>
- Alomar, D., Gallo, C., Castañeda, M., & Fuchslocher, R. (2003). Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Meat Science*, 63(4), 441–450. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00101-8)
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303–321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S., & Lister, S. J. (1994). Correction to the Description of Standard Normal Variate (SNV) and De-Trend (DT) Transformations in *Practical Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. *NIR News*, 5(3), 6. <https://doi.org/10.1255/nirn.248>
- Bertrand, D., & Dufour, E. (Eds.). (2006). *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques* (2a ed.). Technique & Doc.
- Burns, D. A., & Ciurczak, E. W. (Eds.). (2008). *Handbook of near-infrared analysis* (3a ed.). CRC Press.
- Cajarville, C., Repetto, J. P., Curbelo, A., Soto, C., & Cozzolino, D. (2003). Determination of dry matter (DM) and nitrogen (N) degradability in forages by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2003, 154–154. <https://doi.org/10.1017/S1752756200013132>
- Cozzolino, D., Fassio, A., & Fernández, E. (2003). Uso de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de calidad de ensilaje de maíz. *Agricultura Técnica*, 63(4), 387–393. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072003000400007>
- Garner, W. Y., Barge, M. S., & Ussary, J. P. (Eds.). (1992). *Good laboratory practice standards: Applications for field and laboratory studies*. American Chemical Society.
- Givens, D. I., De Boever, J. L., & Deaville, E. R. (1997). The principles, practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutrition Research Reviews*, 10(1), 83–114. <https://doi.org/10.1079/NRR19970006>
- De Luca, S., De Filippis, M., Bucci, R., Magri, A. D., Magri, A. L., & Marini, F. (2016). Characterization of the effects

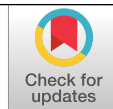
- of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics. *Microchemical Journal*, 129, 348–361. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.021>
- Deming, S. N., Michotte, Y., Massart, D. L., Kaufman, L., & Vandeginste, B. G. M. (1988). *Chemometrics: A textbook* (1a ed.). Elsevier Science.
- Dias, R. C. E., de Faria-Machado, A. F., Mercadante, A. Z., Bragagnolo, N., & Benassi, M. de T. (2014). Roasting process affects the profile of diterpenes in coffee. *European Food Research and Technology*, 239(6), 961–970. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2293-x>
- Echeverri-Giraldo, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Figueiredo, L. P., Borem, F. M., Ribeiro, F. C., Giomo, G. S., Taveira, J. H. da S., & Malta, M. R. (2015). Fatty acid profiles and parameters of quality of specialty coffees produced in different Brazilian regions. *African Journal of Agricultural Research*, 10(35), 3484–3493. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9697>
- Folstar, P., Van der Plas, H. C., Pilnik, W., & De Heus, J. G. (1977). Tocopherols in the unsaponifiable matter of coffee bean oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 283–285. <https://doi.org/10.1021/jf60210a041>
- García Olmo, J. (2002). *Clasificación y autenticación de canales de cerdo ibérico mediante espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de Doctorado], Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/2340>
- Garrido, A., Roza, B., & Puigdomenech, A. (1999). Posibilidades y limitaciones de la transferencia de calibraciones NIRS. *ITEA*, 20(2), 553–555. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/1999/comunicaciones/1999\\_NyA\\_48.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/1999/comunicaciones/1999_NyA_48.pdf)
- Garrido, A., Gómez, A., Guerrero, J. E., & Fernández, V. (1996, noviembre 7-8). NIRS: Una tecnología de apoyo para un servicio integral en Alimentación Animal. *XII Curso de Especialización FEDNA*. Madrid, España. [http://fundacionfedna.org/sites/default/files/96CAP\\_XIV.pdf](http://fundacionfedna.org/sites/default/files/96CAP_XIV.pdf)
- Garrido-Varo, A., García-Olmo, J., & Pérez-Marin, M. D. (2004). Applications in Fats and Oils. En C. A. Roberts, J. Workman, & J. B. Reeves (Eds.), *Agronomy Monographs* (pp. 487–558). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr44.c19>
- Ginz, M., Balzer, H. H., Bradbury, A. G. W., & Maier, H. G. (2000). Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. *European Food Research and Technology*, 211(6), 404–410. <https://doi.org/10.1007/s002170000215>
- Gómez, C. R., Ortiz, A., Gallego, C., & Echeverri, L. F. (2021). Validación de curvas de calibración por NIRS para la predicción de compuestos químicos de café almendra. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72204. <https://doi.org/10.38141/10778/72204>
- Isaksson, T., & Næs, T. (1988). The Effect of Multiplicative Scatter Correction (MSC) and Linearity Improvement in NIR Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 42(7), 1273–1284. <https://doi.org/10.1366/0003702884429869>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). *NTC 2442: Café tostado en grano y/o molido. Determinación del grado de tostión*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-tostado-en-grano-y-o-molido-determinacion-del-grado-de-tostion-ntc2442-2004.html>
- Iwamoto, M. (1991). Application of near-infrared spectroscopy for quality control in food and feed industries. *Proceedings of the 3rd International Conference on Near Infrared Spectroscopy*. Agricultural Research Centre, Gembloux, Belgium.
- Ky, C.-L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S., & Noiro, M. (2001). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. *Food Chemistry*, 75(2), 223–230. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00204-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00204-7)
- Marin, C., & Puerta, G. I. (2008). Contenido de ácidos clorogénicos en granos de *Coffea arabica* L. y *C. Canephora*, según el desarrollo del fruto. *Revista Cenicafé*, 59(1), 7–28. <http://hdl.handle.net/10778/60>
- Martens, H., & Næs, T. (1992). *Multivariate Calibration*. John Wiley & Sons.
- Mieres, J., Cozzolino, D., & Acosta, Y. (2000). Determinación del valor nutritivo del ensilaje de maíz mediante infrarrojo cercano NIRS. *XVII Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)*. Montevideo, Uruguay.
- Molano, M. L., Cortés, M. L., Ávila, P., Martens, S. D., & Muñoz, L. S. (2016). Ecuaciones de calibración en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para predicción de parámetros nutritivos en forrajes tropicales. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 4(3), 139–145. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(4\)139-145](https://doi.org/10.17138/TGFT(4)139-145)
- Moreira, R. F. A., Trugo, L. C., de Maria, C. A. B., Matos, A. G. B., Santos, S. M., & Leite, J. M. C. (2001). Discrimination of Brazilian arabica green coffee samples by chlorogenic acid composition. *Archivos*

- Latinoamericanos de Nutrición, 51(1), 95–99. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2001/1/art-14/>
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. T. (1993). *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis* (2a ed.). Longman Scientific & Technical; Wiley.
- Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C. P., & Echeverri, L. F. (2021). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la composición química del café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72103. <https://doi.org/10.38141/10778/72103>
- Perezmarín, D., Garrido, A., & Guerrero, J. (2007). Non-linear regression methods in NIRS quantitative analysis. *Talanta*, 72(1), 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.10.036>
- Pizarro, C., Esteban-Díez, I., González-Sáiz, J.-M., & Forina, M. (2007). Use of Near-Infrared Spectroscopy and Feature Selection Techniques for Predicting the Caffeine Content and Roasting Color in Roasted Coffees. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7477–7488. <https://doi.org/10.1021/jf071139x>
- Puerta, G. I., & Echeverri, L. F. (2019). Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción. *Revista Cenicafé*, 70, 67–80. <http://hdl.handle.net/10778/4217>
- Rincón, L. M., & Cano, L. M. (2010). *Desarrollo de un prototipo de laboratorio para el control de calidad de la variable grado de tuestión del café tostado molido, empleando visión artificial* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7366>
- Rubio Hurtado, M. J., & Berlanga, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. *REIRE*, 5(2), 83–100. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/45286>
- Shan, J., Suzuki, T., Suhandy, D., Ogawa, Y., & Kondo, N. (2014). Chlorogenic acid (CGA) determination in roasted coffee beans by Near Infrared (NIR) spectroscopy. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 7(4), 139–142. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.08.003>
- Shan, J., Wang, X., Han, S., & Kondo, N. (2017). Application of Curve Fitting and Wavelength Selection Methods for Determination of Chlorogenic Acid Concentration in Coffee Aqueous Solution by Vis/NIR Spectroscopy. *Food Analytical Methods*, 10(4), 999–1006. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0650-z>
- Shenk, J. S., Westerhaus, M. O., & Berzaghi, P. (1997). Investigation of a LOCAL Calibration Procedure for near Infrared Instruments. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 5(4), 223–232. <https://doi.org/10.1255/jnirs.115>
- Torres, L. D. S., & Herrera, C. H. (2005). Desarrollo de un método de análisis para la cuantificación de ácidos clorogénicos en café. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(2), 99–107.
- Solís, L. D., & Herrera, C. H. (2005). Desarrollo de un método de análisis para la cuantificación de ácidos clorogénicos en café. *Agronomía costarricense*, 29(2), 99–107. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6314482>
- Solís, M., De Pedro, E., Garrido, A., García, J., Silió, L., Rodríguez, C., & Rodríguez, J. (2001). Evaluación de la composición del lomo de cerdo ibérico mediante la tecnología NIRS. *Información Técnica Económica Agraria*, 22, 613–615.
- Speer, K., Sehat, N., & Montag, A. (1993, June 6-11). Fatty acids in coffee. Proceedings of 15th International Scientific Colloquium on Coffee. Montpellier, France.
- Valenciaga, D., & Oliveira Simoes, E. D. (2006). La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(3), 259–267. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017723001>
- Vásquez, D. R., Abadía, B., & Arreaza, L. C. (2004). Aplicación de la Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 49–55. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol5\\_num1\\_art:24](https://doi.org/10.21930/rcta.vol5_num1_art:24)
- Villarreal, D., Baena, L. M., & Posada, H. E. (2012). Análisis de lípidos y ácidos grasos en café verde de líneas avanzadas de Coffea arábica cultivadas en Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(1), 19–40. <http://hdl.handle.net/10778/520>
- Villegas, A. M., Pérez, C., Arana, V., Sandoval, T., Posada, H., Garrido, A., Guerrero, J., Pérez, D., & Olmo, J. (2014). Identificación de origen y calibración para tres compuestos químicos en café, por espectroscopia de infrarrojo cercano. *Revista Cenicafé*, 65(1), 7–16. <http://hdl.handle.net/10778/551>
- Vitorino, M. D., França, A. S., Oliveira, L. S. de, & Andrade, F. M. (2001). Variação de características físicas e químicas de café durante a torra. Parte II: Características químicas. En Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador), *II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Vitória, Espírito Santo, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/1175>
- Williams, P., & Norris, K. H. (1987). *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists.

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

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

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



La raíz del café cumple funciones de soporte, absorción de agua y nutrientes necesarios para el crecimiento y la producción. Con el objetivo de evaluar la biomasa de raíces de café en diferentes tipos de renovación, se tomaron muestras cada tres meses, durante un año, en 30 árboles seleccionados de forma aleatoria por cada evaluación. Las muestras de suelo y raíces fueron extraídas a 25 y 50 cm de distancia horizontal, desde la base del tallo, en los primeros 20 cm desde la superficie. Se seleccionaron aquellas raíces con diámetro inferior o igual a 3 mm y se clasificaron en vivas o muertas. Para zoca común, poda pulmón y poda calavera<sup>1</sup>, se encontraron diferencias significativas en la cantidad de biomasa de raíces vivas, tanto a 25 cm como a 50 cm, al comparar los promedios de la fecha inicial y después de la renovación, similar respuesta se encontró al analizar la composición de raíces totales (vivas y muertas). La mayor eliminación de tejido aéreo en las plantas renovadas condujo a la disminución de la biomasa de raíces en el primer año, no obstante, el desarrollo de nuevas raíces se observó a medida que las plantas aumentaron la edad, recuperando hasta un 74% de la biomasa inicial en árboles de zoca común de dos años. De forma complementaria la producción de café en un período de cinco años, presentó para la zoca común un valor acumulado de 50.865 kg de café cereza, superior al registrado con los otros tipos de renovación.

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

## EFFECT OF RENEWAL BY STUMPING AND PRUNING ON COFFEE ROOT BIOMASS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## MATERIALES Y MÉTODOS

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

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

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



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

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

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

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

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

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Biomasa de raíces de café en diferentes métodos de renovación**

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

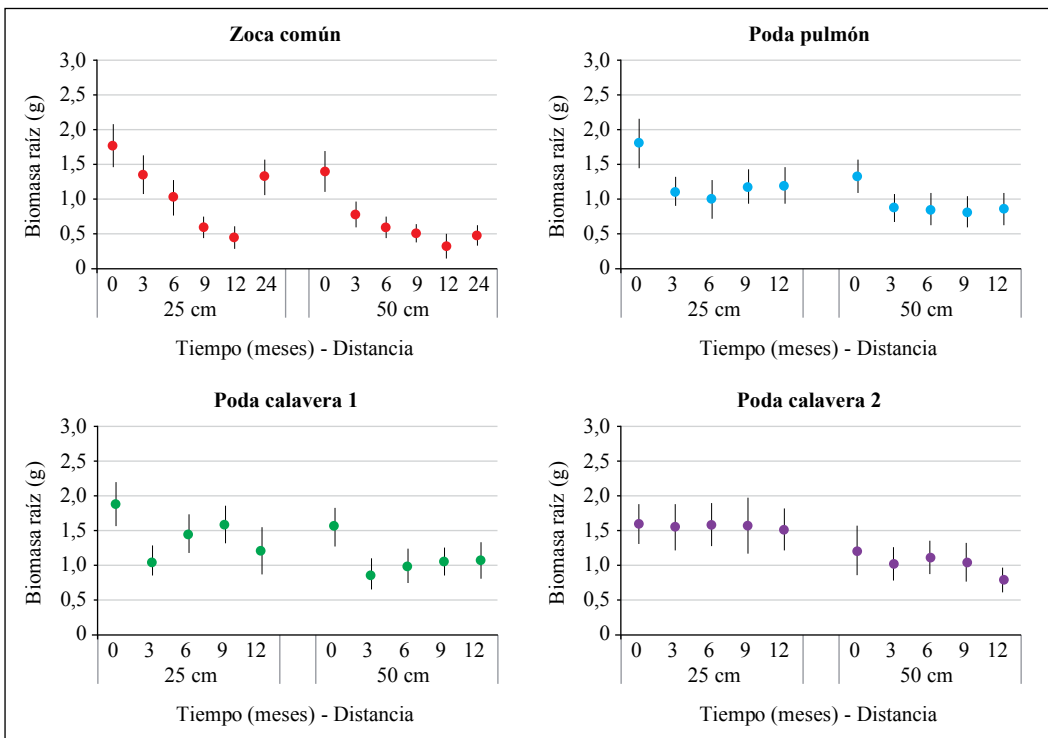
renovación en plantas de café de cinco años de edad y después de aplicar los métodos de poda y zoca de los árboles.

### Biomasa de raíces vivas

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Biomasa de raíces totales

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

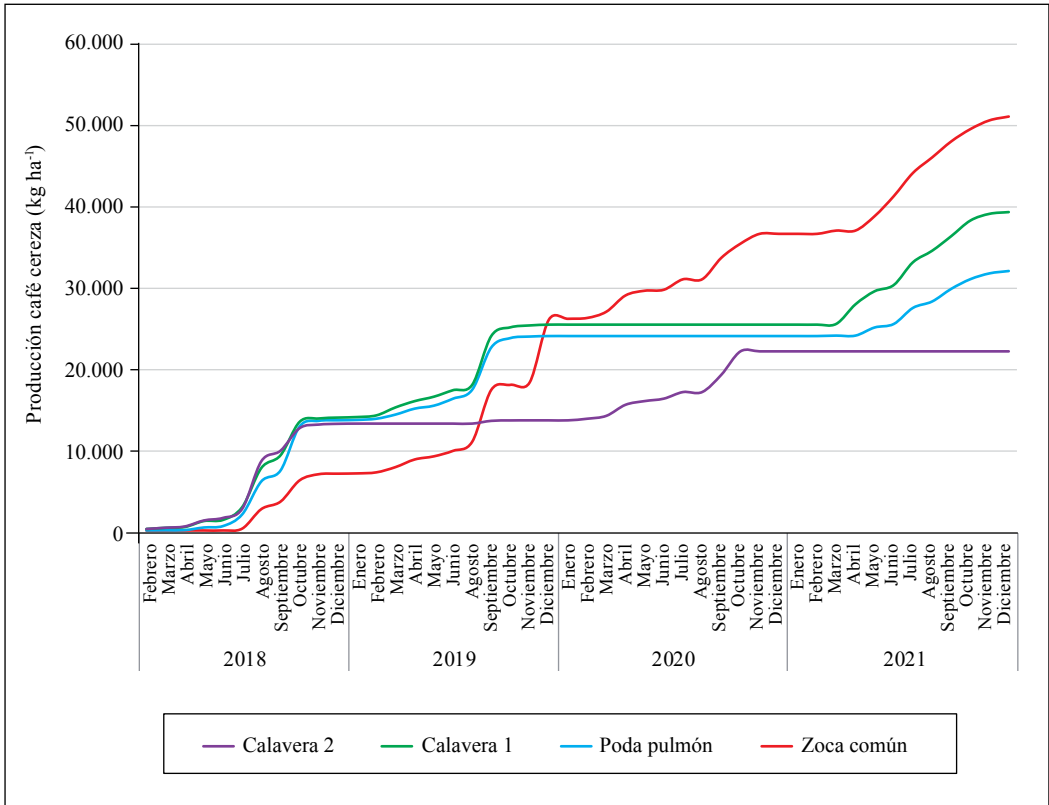
En renovaciones con poda calavera la cantidad de tejido que permanece luego de la poda (tallo 1,8 m y ramas hasta 0,4 m de longitud), es mayor en comparación con los otros tipos de renovación. Sin embargo, en el sistema de renovación con poda calavera recurrente cada dos años, después de registrar una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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



## AGRADECIMIENTOS

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

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

## LITERATURA CITADA

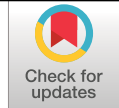
- Alves, J. D., Paglis, C. M., Livramento, D. E. do, Linhares, S. S. D., Becker, F. B., & Mesquita, A. C. (2011). Source-sink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(5), 956–964. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000500013>
- Amaral, J. F. T., Martinez, H. E. P., Laviola, B. G., Fernandes, E. I., & Cruz, C. D. (2011). Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41(4), 621–629. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000027>
- Callejas, R., Rojo, E., Benavidez, C., & Kania, E. (2012). Crecimiento y distribución de raíces y su relación con el potencial productivo de parrales de Vides de Mesa. *Agrociencia*, 46(1), 23–35. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952012000100003&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952012000100003&script=sci_abstract)
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C., Curi, N., Heck, R. J., Rossoni, D. F., Carvalho, T. S., & Costa, A. L. (2015). Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. *Soil and Tillage Research*, 145, 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.015>
- Carducci, C. E., Oliveira, G. C., Lima, J. M., Rossoni, D. F., Costa, A. L., & Oliveira, L. M. (2014). Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3), 270–278. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300005>
- Covre, A. M., Partelli, F. L., Gontijo, I., & Zucoloto, M. (2015). Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(11), 1006–1016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100003>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Ghimire, B. K., Kim, S.H., Yu, C.Y., & Chung, I.M. (2022). Biochemical and Physiological Changes during Early Adventitious Root Formation in *Chrysanthemum indicum* Linné Cuttings. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(11), 1440. <https://doi.org/10.3390/plants11111440>
- Gokavi, N., Mote, K., Jayakumar, M., Raghuramulu, Y., & Surendran, U. (2021). The effect of modified pruning and planting systems on growth, yield, labour use efficiency and economics of Arabica coffee. *Scientia Horticulturae*, 276, 109764. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109764>
- Gómez, R., Palma, D. J., Obrador, J. J., & Ruiz, O. (2018). Densidad radical y tipos de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 203–2015. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1278>
- Gutiérrez, M. V., Torres, J., & Araya, J. M. (2014). Uso de WinRhizo® en la cuantificación de las raíces y su aplicación en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Agronomia Mesoamericana*, 25(1), 181–188. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14219>
- Kolek, J., & Kozinka, V. (1992). *Physiology of the plant root system*. Kluwer Academic Publishers.
- Mesquita, A. C., Alves, J. D., Paglis, C. M., Guerra, E. G., Linhares, S. S. D., & Livramento, D. E. (2009). Sistema radicular de cafeeiros podados. En Consórcio Pesquisa Café e Desenvolvimento do Café (Organizador), *VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Vitória, Espírito Santo, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2784>

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

# EFFECTO DE LOS DEPREDADORES *Cathartus quadricollis* Y *Ahasverus advena* (COLEOPTERA: SILVANIDAE) SOBRE *Hypothenemus hampei* EN EL CAMPO

Luis Miguel Constantino Chuaire \*, Pablo Benavides Machado \*

Constantino, L. M., & Benavides Machado, P. (2023). Efecto de los depredadores *Cathartus quadricollis* y *Ahasverus advena* (Coleoptera: Silvanidae) sobre *Hypothenemus hampei* en el campo. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74106. <https://doi.org/10.38141/10778/74106>



Por su comportamiento, la broca del café es difícil de controlar debido a que su ciclo de vida transcurre dentro de los frutos de café. Una alternativa es el control biológico mediante el aumento de depredadores capaces de penetrar por los orificios de los frutos infestados en el campo. Se evaluaron los depredadores *Cathartus quadricollis* y *Ahasverus advena* en el campo. Las unidades de trabajo estuvieron conformadas por una planta de café en estado productivo, encerrada con jaula entomológica. En cada árbol se ubicaron 50 granos de café infestados con broca durante 20 días, colgados de una rama (para evaluarlo con ambas especies) o colocados sobre el suelo (para *A. advena*). Se tuvieron dos tratamientos y dos testigos, con 15 repeticiones. Se liberaron 150 adultos de cada especie de depredador, evaluando la población de broca y los frutos infestados en el árbol a los 50 días. El análisis de varianza al 5% mostró diferencias estadísticas entre tratamientos en el número de estados de broca vivos y los frutos infestados, para las dos especies de depredadores. La prueba de Dunnett al 5% indicó que *A. advena* disminuyó hasta 70,1% la broca cuando se ubicó en la parte aérea del árbol y en un 76,4% cuando se colocaron en el suelo. Los adultos de *C. quadricollis* disminuyeron significativamente los frutos infestados en el árbol en un 50,1% cuando los granos se dispusieron en las ramas. Estos depredadores son especies potenciales dentro de una estrategia de manejo integrado de la broca del café.

**Palabras clave:** Manejo integrado, control biológico, depredación, broca del café, Colombia, Cenicafé.

## EFFECT OF THE PREDATORS *Cathartus quadricollis* AND *Ahasverus advena* (COLEOPTERA: SILVANIDAE) ON *Hypothenemus hampei* IN THE FIELD

Due to its behavior, coffee berry borer (CBB) is difficult to control because its life cycle takes place inside the coffee fruits. A control alternative is biological control through the increase of predators capable of penetrating through the holes of the infested fruits in the field. For this, the predators *Cathartus quadricollis* and *Ahasverus advena* were evaluated in the field. The experimental units consisted of a productive coffee tree, enclosed with an entomological cage. In each tree, 50 coffee beans infested for 20 days with CBB were located, hanging from a branch (to evaluate it with both species) or placed on the ground (for *A. advena*). There were two treatments and two controls, with 15 repetitions per treatment. From each predator species 150 adults were released, evaluating the CBB population and the infested fruits on the tree after 50 days. The 5% analysis of variance showed statistical differences between treatments in the number of live CBB stages and infested fruits, using the two predator species. Dunnett's test at 5% indicated that *A. advena* reduced CBB by up to 70.1% when it was placed in the aerial part of the tree and by 76.4% when it was placed on the ground. Similarly, *C. quadricollis* adults significantly decreased infested fruits on the tree by 50.1% when the grains were placed on the branches. These predators are potential species to be included in an integrated pest management strategy for CBB.

**Keywords:** Pest Management, Biological Control, Predation, Coffee Berry Borer, Colombia, Cenicafé.

\* Investigador Científico II e Investigador Científico III. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8117-5803> y <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>



La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867), es la plaga más importante del cultivo del café en Colombia y el mundo. El daño lo produce el adulto cuando barrena las almendras y se reproduce en el interior del endospermo causando la pérdida total o parcial del grano, con considerables detrimentos económicos a los productores (Cárdenas, 1991; Bustillo et al., 1998).

A partir de la llegada de esta plaga a Colombia en el año 1998, el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, implementó una estrategia de Manejo Integrado de la Broca (MIB), que involucra medidas de control cultural, biológico, legal y químico, para mantener las poblaciones por debajo del nivel de daño económico (5%) en el cultivo (Bustillo, 2007; Benavides et al., 2013).

En los frutos que quedan en el árbol y en el suelo después de las cosechas, la broca puede sobrevivir y reproducirse, durante al menos 150 días (Castaño et al., 2005). Dentro de las prácticas de manejo integrado, la recolección oportuna y el repase después de las cosechas, denominado Re-Re, es la estrategia más importante para cortar el ciclo del insecto y disminuir sus poblaciones en el cultivo, reduciendo los niveles de infestación de la siguiente cosecha (Benavides et al., 2013). Debido a la escasez de mano de obra, esta práctica no es realizada por muchos caficultores, por lo cual estos frutos se convierten en reservorios y fuentes de reproducción y dispersión del insecto. Por otra parte, el uso continuado e indiscriminado de insecticidas como única medida de control no es recomendable, debido a los riesgos de contaminación ambiental, el desarrollo de resistencia en la broca y su ineficacia una vez el insecto está en el interior del fruto (Bustillo, 2008; Benavides et al., 2013). Una

alternativa es el control biológico mediante la liberación de enemigos naturales, integrado con prácticas culturales y el uso del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca (Bustillo et al., 1998).

En África central, su región de origen, la broca del café cuenta con varios enemigos naturales que regulan naturalmente sus poblaciones como son los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae), *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) y *Heterospilus coffeicola* (Hymenoptera: Braconidae), el depredador *Karnyothrips flavipes* (Thysanoptera: Phaelothripidae) y el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) (Bustillo et al., 2002; Benavides et al., 2013; Jaramillo, 2008; Vega et al., 2009). En América hay reportes de los parasitoides *Cephalonomia hyalinipennis* (Hymenoptera: Bethyridae) en México (Pérez-Lachaud 1998) y *Cryptoxilos* sp. (Hymenoptera: Braconidae) en Colombia (Bustillo et al., 2002).

Los insectos parasitoides y algunos depredadores que se han encontrado dentro de los frutos brocados de café, tienen la habilidad de penetrar por el orificio de entrada que hace la broca en el fruto y buscar sus presas a través de las galerías y túneles. Entre los principales depredadores de los estados inmaduros de la broca del café reportados en Colombia están las hormigas Formicidae (Hymenoptera), principalmente con las especies *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* (Mera et al., 2010; Armbréchet & Perfecto, 2001; Constantino et al., 2022), Anthocoridae (Hemiptera) y Silvanidae (Coleoptera) (Vera et al., 2007; Bustillo et al., 2002; Mera et al., 2010; Kawabata et al., 2016; Brill et al., 2021). Dos especies de coleópteros de la familia Silvanidae, se han registrado dentro de las galerías y túneles en granos infestados

de broca, siendo *Cathartus quadricollis* y *Monanus* sp. las dos especies identificadas por Bustillo et al. (2002) y Vera et al. (2007). Ambas especies se evaluaron por Vera et al. (2007) a partir de adultos recolectados en el campo, ofreciendo directamente larvas y huevos de broca en cajas de Petri, logrando porcentajes de depredación de broca mayores al 60% en condiciones de laboratorio. En el 2013, Constantino reportó a *Ahasverus advena*, *Europs* sp. y *C. quadricollis* de la familia Silvanidae, depredando estados biológicos de broca en Colombia, de las cuales las dos primeras no se tenían reportadas en el país atacando este insecto (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2013, pp. 49–52). En unas pruebas de palatabilidad realizadas en Cenicafé con diferentes dietas, se estudió el comportamiento de alimentación y biología de *C. quadricollis* y *A. advena* (Coleoptera: Silvanidae), y se concluyó que estas especies no consumen ni se reproducen en almendra molida de café (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2013, pp. 49–52), lo que confirma que su presencia en las galerías de la broca del café está relacionada con eventos de depredación de estados inmaduros de broca, más no representa un peligro como potencial plaga de la almendra del café.

Recientemente, Follet et al. (2016) evaluaron la capacidad depredadora de adultos de *C. quadricollis* con pruebas de depredación directa sobre estados biológicos de broca, donde se expusieron 20 estados de broca por cada tres depredadores adultos, obteniendo 77,5% de depredación en huevos, 55,0% en larvas, 53,0% en pupas y 15,5% en adultos. Kawabata et al. (2016) y Brill et al. (2021) estudiaron la biología de *Cathartus quadricollis* y *Leptophloeus* sp. (Coleoptera: Silvanidae) como depredador de broca del café en Hawái en dieta de maíz, y Sim et al. (2016) corroboraron la depredación de estados biológicos de la broca de café en granos

de café por estas dos especies de escarabajos, utilizando marcadores moleculares.

A raíz de estos antecedentes se establecieron crias de *C. quadricollis* y *A. advena* en la planta piloto de cría de enemigos naturales de Cenicafé, para evaluarlos en el control de la broca del café. Laiton et al. (2018) evaluaron la capacidad depredadora de *C. quadricollis* y *A. advena* sobre la broca dentro de granos de café pergamino seco (cps) en condiciones de laboratorio, encontrando que tanto los adultos como las larvas de *A. advena* disminuyeron significativamente los estados biológicos de la broca entre 63,2% y 42,3% con respecto al testigo, siendo mayor la capacidad depredadora cuando se utilizaron tres individuos por grano infestado. Igualmente, *C. quadricollis* disminuyó los estados de la broca hasta 46,2% y 69,0% cuando se liberaron tres adultos y cinco larvas por grano, respectivamente.

Los coleopteros de la familia Silvanidae se caracterizan por ser depredadores de ácaros y pequeños insectos, así como por ubicarse frecuentemente en lugares escondidos. Esta es probablemente la razón por la que se encuentran estas especies dentro de los frutos de café, aprovechando el orificio de entrada de la broca para buscar refugio y encontrando al interior de los frutos una nueva fuente de alimentación, como son los estados inmaduros de la broca (Vera et al., 2007). *Cathartus quadricollis* (Guerin-Meneville) (Coleoptera: Silvanidae), conocido con el nombre de cucarroncito cuellicuadrado de los granos, es una especie de distribución pantropical y subtropical en todo el mundo. Se le considera como una plaga secundaria de almacén dado que se alimenta principalmente de granos de maíz partidos o dañados, granos de trigo, yuca seca y harina (Tróchez 1987). El adulto es de forma aplanada, oblongo, castaño

rojizo, con una longitud de 2,5 mm. El pronoto del cuello es de forma cuadrada con bordes lisos (Tróchez 1987).

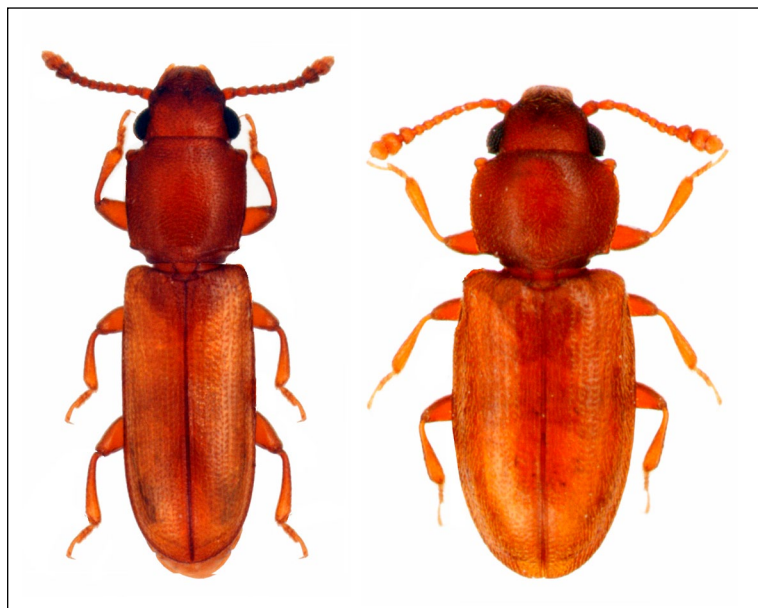
*Ahasverus advena* (Waltl, 1832) (Coleoptera: Silvanidae), se conoce comúnmente como el cucarroncito aplanado menor de los granos. Está distribuido en todo el mundo y se alimenta de granos partidos y almacenados en sitios con alta humedad (> 70%) (Tróchez, 1987). Se considera una plaga secundaria dado que se alimenta de granos que han sido dañados por otros insectos. El adulto es castaño rojizo, de 1,5 a 1,8 mm de longitud, similar en apariencia a los adultos de *C. quadricollis* pero de menor tamaño, con el cuerpo más ovalado y pronoto ligeramente transverso, embombado y ribeteado, con los bordes laterales finamente dentados (Laiton et al., 2018).

Se escogieron estas dos especies (*C. quadricollis* y *A. advena*) para usarlas bajo condiciones de campo en el presente estudio, con el objetivo de evaluar la reducción en la

cantidad de frutos infestados y en la población de broca como efecto de las liberaciones de adultos de los depredadores, bajo la hipótesis de que al menos una de las especies de los depredadores disminuye el número de frutos infestados por broca en el árbol, en más del 50%.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La obtención de los adultos de *C. quadricollis* y *A. advena* se realizó en las Estaciones Experimentales de Cenicafé Naranjal, La Catalina y Paraguaicito, y en tres fincas particulares cuya ubicación y altitud se resumen en la Tabla 1. En cada una de las localidades se recolectaron 500 frutos secos de café infestados por broca, provenientes del árbol, y 500 frutos secos del suelo, para un total de 6.000 frutos en lotes productivos de *Coffea arabica* de 4-5 años de edad, de 1,0 ha de extensión a libre exposición, con niveles altos de infestación del 4,0% al 10,0% de broca del café *Hypothenemus hampei*.



**Figura 1.** Adultos de *Cathartus quadricollis* (izquierda) y *Ahasverus advena* (derecha).

**Tabla 1.** Sitios muestreados para la obtención de *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* en la zona central cafetera de Colombia.

Finca/estación	Departamento	Municipio	Altitud (m)
Paraguaito	Quindío	Buenavista	1.203
La Bella	Quindío	Calarcá	1.449
La Catalina	Risaralda	Pereira	1.321
Naranjal	Caldas	Chinchiná	1.381
Las Carolas	Caldas	Chinchiná	1.378
La Paloma	Caldas	Palestina	1.395

Los adultos de los depredadores *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* (Coleoptera: Silvanidae) se obtuvieron a partir de los frutos de café secos recolectados, depositados en recipientes plásticos de 22 cm x 11 cm x 7 cm, cubiertos con tapa, y dos orificios circulares de ventilación de 3 cm de diámetro, forrados con tela muselina blanca. Se ubicaron hasta la emergencia de los depredadores, en un cuarto climatizado a 24°C y 76% de humedad relativa. Para la recolección y separación de los adultos se realizó un tamizaje y cernido del ripio de café con una malla metálica de 0,5 mm x 0,5 mm de diámetro, para recolectar los insectos cada 15 días.

Posteriormente, se establecieron crías de los depredadores *A. advena* y *C. quadricollis* bajo condiciones de laboratorio (24°C y 70% HR) en la planta piloto del Centro Nacional de Investigaciones de Café–Cenicafé en Planalto (Manizales, Caldas). Se usaron recipientes de cría plásticos y de vidrio, dentro de los cuales se pusieron individuos adultos de cada depredador, alimentados con granos de maíz trillado. Con el fin de garantizar el suministro continuo de alimento y evitar contaminación de las crías, se cambió el alimento cada 30 días.

Para la evaluación de depredación en el campo, para cada especie, *A. advena* y *C. quadricollis*, se evaluó la capacidad depredadora sobre estados biológicos de broca en la Estación Experimental de Paraguaito (Tabla 1). Para esto, se seleccionó un lote productivo de café *Coffea arabica* var. Castillo de 1,0 ha de extensión, de tres años de edad, con una densidad de 7.000 árboles, conteniendo frutos de más de 120 días de desarrollo. Para cada especie de depredador se seleccionaron 15 árboles de café y cada árbol se cubrió con una jaula entomológica construida en tubo de PVC de 2,10 m de alto y 1,30 m de ancho, forradas con tela muselina blanca para evitar el escape de los insectos depredadores y las brocas (Figura 2A). La unidad de trabajo estuvo conformada por un árbol productivo cubierto con una jaula entomológica. A los árboles cubiertos con jaula entomológica se les retiraron todos los frutos brocados de las ramas y del suelo. Luego, en cada árbol, en el tallo central a un metro de altura del suelo, se colgó una canastilla de anejo metálico con 50 granos de café pergamino con humedad de 47% y con 20 días de infestación con broca y tres orificios de entrada, conteniendo en promedio

10 ± 2,1 estados biológicos de broca, obtenidos del laboratorio Biocafé en Chinchiná (Caldas) (Figura 2B). Para la especie *A. advena* se evaluaron cuatro tratamientos divididos en dos estratos:

**T1:** 50 granos de café pergamino infestados por broca, colocados en el estrato arbóreo medio sobre una malla de anjeo, liberando 150 depredadores.

**T2:** 50 granos de café pergamino infestados por broca, colocados en el suelo del árbol, liberando 150 depredadores.

**T3:** testigo absoluto sin depredadores, colocando 50 granos de pergamino infestados por broca, en el estrato arbóreo medio sobre una malla de anjeo.

**T4:** testigo absoluto sin depredadores, colocando 50 granos de pergamino infestados por broca, en el suelo de cada árbol.

Posteriormente, se evaluó la especie *C. quadricollis* solo en los tratamientos T1 y T3 descritos, colocando los granos brocados en el estrato arbóreo medio. El diseño de los tratamientos fue aleatorizado, pero separados para cada especie de depredador en tiempos diferentes.

Por cada tratamiento se tuvieron 15 repeticiones, las cuales fueron asignadas de acuerdo con el diseño experimental completamente aleatorio. A los 50 días de aplicados los tratamientos, se registró el número total de frutos del árbol y aquellos infestados por broca. Con esta información se obtuvo la variable de respuesta número de frutos perforados por broca, con la cual se estimó el promedio y su respectivo error estándar por tratamiento; se hizo un análisis de varianza bajo el diseño experimental descrito, al 5%

y se procedió a comparar los tratamientos con sus respectivos testigos con la prueba de Dunnett al 5%.

La hipótesis de investigación fue corroborada siempre y cuando el número de frutos infestados en el árbol, en al menos uno de los depredadores, difiriera de su testigo y la diferencia, descriptivamente, fuese mayor del 50% con respecto a su testigo. Adicionalmente, de cada jaula conteniendo los granos de café pergamino infestados, se tomaron diez frutos de café cereza infestados del árbol, para diseccionar bajo un estereoscopio y registrar el número de estados vivos de broca. Con esta información se estimó el promedio de estados vivos por tratamiento y se verificó que tuvieran menos población de broca que en los testigos, de acuerdo con una prueba Dunnett al 5%. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS (SAS Institute 2007).

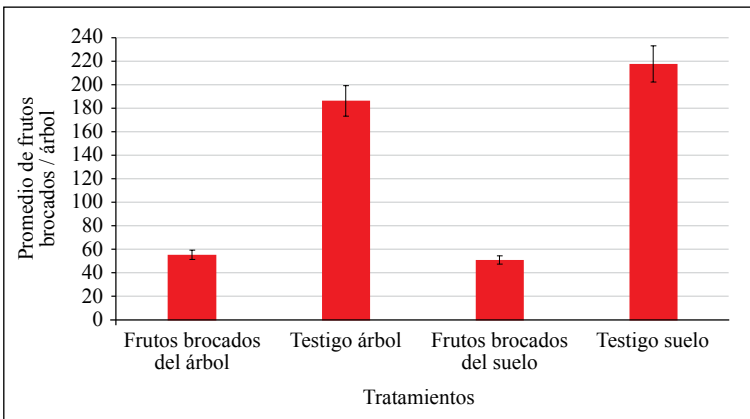
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de la capacidad depredadora de adultos de *A. advena* sobre la broca del café, según el estrato arbóreo donde fueron liberados, se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos y el testigo ( $F= 30,6$ ;  $g.l=1$ ;  $P<0,001$ ), para la variable número de frutos infestados por broca por árbol, cuando se liberaron los depredadores sobre el árbol con valores promedio de  $186,2 \pm 37,1$  frutos con broca en ausencia del depredador (testigo) y valores de  $55,5 \pm 4,6$  frutos con broca cuando estuvieron expuestos a los depredadores (Figura 3). La prueba de Dunnett mostró que los adultos de *A. advena* disminuyeron la cantidad de frutos infestados en los frutos del árbol en un 70,1% cuando el café pergamino seco infestado se colocó en el estrato arbóreo medio y en un 76,4% cuando se colocaron en el suelo, en comparación a los correspondientes testigos (Figura 3).

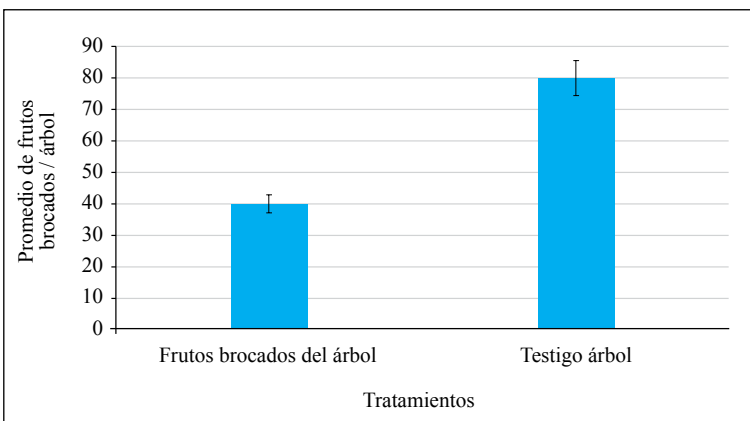




**Figura 2.** Unidades de trabajo. **a.** Árboles de café cubiertos con jaula entomológica; **b.** Ubicación de los granos de café infestados por broca dentro de las unidades de trabajo, para evaluar la capacidad depredadora de *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* sobre la broca del café.



**Figura 3.** Promedios  $\pm$  error estándar del número de frutos con broca por árbol por cada tratamiento después de 50 días de liberado el depredador *Ahasverus advena* en cada estrato arbóreo (n=15).



**Figura 4.** Promedios  $\pm$  error estándar del número de frutos con broca por árbol después de 50 días de liberado el depredador *Cathartus quadricollis* en el árbol (n=15).

Con respecto a la especie *C. quadricollis*, la evaluación de la capacidad depredadora de los adultos arrojó diferencias significativas ( $F=10,1$ ;  $g.l=1$ ;  $P=0,0036$ ) para la variable frutos con broca por árbol cuando se liberaron los depredadores en el estrato arbóreo medio, con valores promedio de  $79,8 \pm 7,2$  en ausencia del depredador (testigo) y valores de  $39,8 \pm 6,2$  cuando estuvieron expuestos a los depredadores. La prueba de Dunnett mostró que los adultos de *C. quadricollis* disminuyeron la cantidad de frutos con broca en el árbol en un 50,1% con respecto al testigo cuando el café pergamino seco infestado se colgó de las ramas del árbol ( $F=4,14$ ;  $g.l=1$ ;  $0,0515$ ) (Figura 4).

En este estudio se evidenció depredación de adultos y estados inmaduros de broca (Figura 5). Laiton et al. (2018) encontraron mayor preferencia de estos depredadores hacia los huevos, larvas y pupas, y en menor proporción a los adultos de broca. En los adultos de broca muertos dentro de las almendras de café infestadas se hallaron restos de cuerpos parcialmente consumidos, con los bordes de los élitros, cabeza y abdomen masticados (Figura 5). La preferencia hacia los estados inmaduros obedece a su textura blanda y alto contenido de grasa y proteína que las hace más palatables, a diferencia de los adultos que tienen el cuerpo fuertemente quitinizado y recubierto de setas.

Ambas especies de depredadores mostraron buena capacidad de búsqueda de broca en los granos infestados lo cual se pudo evidenciar observando el número de intentos de estos depredadores por penetrar los orificios de entrada de la broca del café. Igualmente, tienen la ventaja de que son hábiles voladores y son capaces de desplazarse de los frutos en el suelo a las ramas productivas sin dificultad. Son coleópteros de cuerpo aplanado y delgado que les permite entrar fácilmente en las

galerías de la broca. Además, son especies que se encuentran frecuentemente en los frutos secos y sobremaduros infestados que se quedan después de las cosechas. En estudios de laboratorio se ha podido determinar que estas especies de coleópteros son longevas, alcanzando una duración de 250 días y tiempos generacionales rápidos de 18,4 a 30,2 días para el caso de *C. quadricollis* (Allotey & Morris, 1993), lo cual los convierte en depredadores potenciales para ser incluidos en programas de manejo integrado de la broca del café.

Para la liberación de los depredadores en el árbol o en el suelo es importante tener presente las condiciones climáticas. En este estudio pudo comprobarse que los granos brocados colocados en el suelo durante la época de invierno, ocasionan la descomposición de estos por la alta humedad del suelo, mientras que, en períodos con menos lluvias los frutos brocados secos del suelo pueden albergar poblaciones altas de depredadores y de estados biológicos de broca, por consiguiente, es más ventajoso liberarlos en el árbol que en el suelo.

La ventaja de este estudio de liberar los depredadores en árboles de café cubiertos con jaulas entomológicas, frente a otros estudios bajo condiciones de laboratorio como el de Follet et al. (2016), es que los depredadores tienen la opción de colonizar cualquier fruto brocado en la parte aérea del árbol de forma natural, mientras que con mangas entomológicas o en recipientes de cría cerrados los depredadores son forzados a alimentarse de broca.

Estas dos especies de depredadores tienen potencial en control biológico de la broca del café, ya que se pueden criar masivamente en granos de maíz trillado, y luego liberarlos en el campo, pero tiene la limitante de que no

pueden liberarse en fincas donde se cultiva maíz, ya que existe el riesgo de que afecten este cultivo o los sitios de almacenamiento de maíz, principalmente de maíz trillado o molido. Debido a que ambas especies de depredadores también se alimentan de granos partidos, se consideran plagas secundarias en granos almacenados, ya que no son capaces de romper granos enteros con pergamino.

Estos depredadores ocurren naturalmente en el campo, ya que son especies nativas, por lo que existe la posibilidad de que se

establezcan naturalmente en los cultivos de café. Para la liberación en el campo, no se recomienda liberar las dos especies en un mismo lugar, para evitar la competencia entre estas dos especies de depredadores.

Estos insectos son eficientes depredadores, ya que tienen buena capacidad de búsqueda, son de tamaño pequeño y hábiles voladores, lo que les permite penetrar por los orificios de entrada que realizan las brocas adultas cuando están perforando las cerezas de café, tanto del árbol como del suelo, a diferencia



**Figura 5.** a. Adulto de *Cathartus quadricollis* y b. adulto de *Ahasverus advena* depredando larvas de broca del café *Hypothenemus hampei*. c. adulto y d. larva de broca parcialmente depredadas por *Cathartus quadricollis* y *Ahasverus advena* respectivamente.

de las hormigas, que no tienen capacidad de vuelo. En cuanto a la eficiencia con los parasitoides de la broca del café como *Prorops nasuta*, *Phymastichus coffea* y *Cephalonomia stephanoderis*, es que los parasitoides de la broca son específicos, mientras que *C. quadricollis* y *A. advena* son depredadores generalistas y también especies omnívoras que se alimentan de granos y residuos de harinas de diferentes tipos de productos almacenados en bodegas, con alta humedad o con bajas condiciones de asepsia.

En este estudio puede concluirse, corroborada la hipótesis de trabajo, que tanto *A. advena* como *C. quadricollis* disminuyeron, en más de un 50% con respecto a los testigos, la cantidad de frutos infestados por broca en el árbol, cuando fueron liberados en el estrato arbóreo medio o en el suelo. Estudios previos como el de Laiton et al. (2018) corroboran estos datos bajo condiciones controladas de laboratorio. Este es el primer estudio de evaluación de las dos especies de depredadores que se realiza bajo condiciones de campo para evaluar su efecto de control de la broca del café.

El diseño de las unidades de trabajo colocando café pergamino infestados en el suelo y en el árbol asemejan las condiciones naturales de los frutos que quedan en el suelo y en el árbol después de las cosechas. Estos frutos dejados en el suelo, representan el principal problema para el manejo de la broca del café, puesto que en estos continúa su reproducción convirtiéndolos en la fuente para infestaciones de la siguiente cosecha. Esto abre una nueva posibilidad en el uso de estos insectos depredadores, para integrar en las prácticas de manejo de broca en Colombia, como alternativa de control biológico en aquellas zonas identificadas como vulnerables al ataque de la broca del café.

## AGRADECIMIENTOS




Los autores agradecen a la Estación Experimental Paraguaicito, en especial al Agrónomo Daniel Antonio Franco y al auxiliar de la Disciplina de Entomología Carlos Alberto Quintero. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número ENT103012.

## LITERATURA CITADA

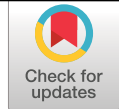
- Allotey, J.; Morris, J.G. 1993. Biology of *Cathartus quadricollis* Guerin-Meneville (Coleoptera:Silvanidae) on some selected food media. *International Journal of Tropical Insect Science*. 14(1): 61-68.
- Armbrecht, I., & Perfecto, I. (2001). . Diversidad de artrópodos en los agroecosistemas cafeteros. *Revista Protección Vegetal*, 12(2), 11–16.
- Benavides Machado, P., Gil-Palacio, Z., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo-Jaramillo, M. (2013). Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y monalónion. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215–260). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_24](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_24)
- Brill, E., Follett, P. A., & Kawabata, A. M. (2021). Feeding habits, movement, and reproduction of the predatory flat bark beetles *Cathartus quadricollis* (Coleoptera: Silvanidae) and *Leptophloeus* sp. (Coleoptera: Laemophloeidae) in Hawaii coffee and macadamia nut. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(1), 285–294. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00205-9>
- Bustillo, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot024.pdf>
- Bustillo, A. E., Cardenas, R., Villalba, D. A., Benavides Machado, P., Orozco, J., & Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café: Hypothenemus hampei*

- Ferrari en Colombia. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/848>
- Bustillo-Parley, A. E., Cárdenas, R., & Posada, F.J. (2002). Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. *Neotropical Entomology*, 31(4), 635-639. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2002000400018>
- Castaño, A., Benavides, P., Baker, P.S. (2005). Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Revista Cenicafé*, 56, 142–150. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/147>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2013). *Informe Anual Cenicafé 2013*. <https://doi.org/10.38141/10783/2013>
- Constantino, L. M., Benavides Machado, P., Escobar-Ramírez, S., Montoya-Lerma, J., & Armbrecht, I. A. (2022). Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en campo con una solución atrayente. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2). e11353. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11353>
- Follett, P. A., Kawabata, A., Nelson, R., Asmus, G., Burt, J., Goschke, K., Ewing, C., Gaertner, J., Brill, E., & Geib, S. (2016). Predation by flat bark beetles (Coleoptera: Silvanidae and Laemophloeidae) on coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Hawaii coffee. *Biological Control*, 101, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.07.002>
- Jaramillo Salazar, J. (2008). *Biology, ecology and biological control of the coffee berry borer, Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)*. [Tesis de Doctorado, Universidad Gottfried Wilhelm Leibniz]. <https://core.ac.uk/download/pdf/237446179.pdf>
- Kawabata, A., Follett, P., Wright, M., Brill, E., & Curtiss, R.T. (2016). An introduction to the Square-Necked Grain Beetle as a Predator of Coffee Berry Borer in Hawaii. *Insect Pests*, 40, 1–4. <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/IP-40.pdf>
- Laiton J., L. A., Constantino, L. M., & Benavides Machado, P. (2018). Capacidad depredadora de *Cathartus quadricollis* y *Ahasverus advena* (Coleoptera: Silvanidae) sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio. *Revista Colombiana de Entomología*, 44(2), 200–205. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i2.7319>
- Mera, Y. A., Gallego-Ropero, M. C., & Armbrecht, I. (2010). Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 116–126. <https://doi.org/10.25100/socolen.v36i1.9131>
- Pérez-Lachaud, G. (1998). A new bethylid attacking the coffee berry borer in Chiapas (Mexico) and some notes on its biology. *Southwestern Entomologist*, 23, 287–288.
- Sim, S. B., Yoneishi, N. M., Brill, E., Geib, S. M., & Follett, P. A. (2016). Molecular Markers Detect Cryptic Predation on Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) by Silvanid and Laemophloeid Flat Bark Beetles (Coleoptera: Silvanidae, Laemophloeidae) in Coffee Beans. *Journal of Economic Entomology*, 109(1), 100–105. <https://doi.org/10.1093/jee/tov284>
- Trochez, A. (1987). *Manual de reconocimiento de insectos asociados en productos almacenados*. ICA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13128>
- Vera, L. Y., Gil-Palacio, Z., & Benavides Machado, P. (2007). Identificación de enemigos naturales de *Hypothenemus hampei* en la zona cafetera central colombiana. *Revista Cenicafé*, 58(3), 185–195. <http://hdl.handle.net/10778/144>
- Vega, F., Infante, F., Castillo, A., & Jaramillo, J. (2009). The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2(2), 129–147. <https://doi.org/10.1163/187498209X12525675906031>

# INFLUENCIA DEL PROCESO DE SECADO DEL CAFÉ NATURAL EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO Y LA CALIDAD SENSORIAL

Claudia Patricia Gallego Agudelo \*, Luis Carlos Imbachí Quinchua \*\*, Valentina Osorio Pérez \*

Gallego, C. P., Imbachí, L. C., & Osorio, V. (2023). Influencia del proceso de secado del café natural en las características físicas del grano y la calidad sensorial. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74107. <https://doi.org/10.38141/10778/74107>



El café natural (CN) se destaca por sus descriptores sensoriales diferenciales en los atributos de fragancia/aroma y sabor con respecto a los cafés lavados. Dentro de los procedimientos para su obtención, el secado constituye un factor crítico para el aseguramiento de su calidad. Con el objetivo de evaluar el efecto del secado en la calidad del CN se evaluaron cinco modalidades, consistentes en un secado inicial al sol (S), complementado con secado mecánico (M): S45%+M, S50%+M, S55%+M, S100%, M100% y el testigo, café lavado 100% secado mecánicamente (LM). El CN en los diferentes tratamientos alcanzó una humedad del 10%-12%, entre 9 y 17 días; comportamiento que se describió a partir de una función de tipo logarítmico y un  $R^2 > 0,92$ . Para el LM, el café requirió un promedio de 4 días de secado, explicada a través de un polinomio de tercer grado  $R^2$  de 0,999. El CN se destacó por presentar un contenido adecuado de actividad del agua. Respecto a las variables físicas del grano, la merma en promedio fue del 50,7% y la almendra sana de 42,6%, con valores de almendra defectuosa entre 2,6% y 6,6%. Con relación a la calidad sensorial, el puntaje total promedio SCA (Specialty Coffee Association) para el LM fue de 82,9 y para el CN de 83,9; con descriptores destacables en fragancia/aroma de chocolate, frutal, caramelo y miel, notas de pulpa dulce y vino. Los resultados llevan a concluir que un proceso adecuado de secado permite obtener CN con destacada calidad física y sensorial.

**Palabras claves:** Café natural, secado, humedad, fragancia/aroma, análisis sensorial, Cenicafé.

## INFLUENCE OF NATURAL COFFEE DRYING PROCESS ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS AND SENSORY QUALITY OF BEANS

Natural coffee (NC) is noted for its differential sensory descriptors in fragrance/aroma and flavor attributes compared to washed coffees. Among the procedures to get it, drying is a critical factor for its quality assurance. In order to evaluate the effect of coffee drying on NC quality, 5 treatments that consisted of an initial sun drying (S), supplemented with mechanical drying (M): S45%+M, S50%+M, S55%+M, S100%, M100% and a control that corresponded to 100% mechanically dried washed coffee (LM) were evaluated. In the different treatments, NC reached an adequate final moisture content (10-12%) between 9 and 17 days. This performance was described based on a logarithmic function and an  $R^2 > 0.92$ . For LM, coffee required an average of 4 days of drying, which was explained by a third degree polynomial  $R^2$ : 0.999. In general, NC showed adequate water activity content. With respect to bean physical variables, average shrinkage was 50.7%, and healthy beans was 42.6%, while defective beans had values between 2.6% and 6.6%. Regarding sensory quality, the average total score of the SCA (Specialty Coffee Association) for LM was 82.9 and for NC was 83.9, with outstanding descriptors in fragrance/aroma of chocolate, fruit, caramel, and honey, as well as sweet pulp and wine notes. The results show that an adequate drying process allows obtaining NC with remarkable physical and sensory quality.

**Keywords:** Natural coffee, drying, humidity, fragrance/aroma, sensory analysis, Cenicafé.

\* Asistente de Investigación e Investigador Científico I, Disciplina Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1532-8055> y <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>

\*\* Asistente de Investigación, Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>



La calidad del café es el resultado de la interacción de factores como la variedad, la ubicación geográfica del sistema de producción, las prácticas agronómicas del cultivo y de poscosecha del fruto (Kulapichitr et al., 2019; de Melo Pereira et al., 2019). Todas estas actividades, sin exclusión, le imprimen a la bebida una identidad sensorial que puede ser variable o reproducible, en función del control de los procesos de cultivo y poscosecha. La transformación del fruto desde café cereza maduro hasta un estado de comercialización previo a la torrefacción, se denomina beneficio del café. En Colombia y algunas regiones de África y Centro América, tradicionalmente el beneficio se realiza por vía húmeda (Puerta, 1999) y a través de este, se obtienen los denominados “café suaves lavados” de la especie *Coffea arabica* L. Este proceso consiste en la sustracción mecánica del exocarpo del fruto maduro y la posterior remoción del mesocarpo adherido a la semilla, por actividad microbiológica y posterior lavado. Finalmente, el café es sometido a secado solar o mecánico (Nilnont et al., 2012; Oliveros et al., 2013).

El beneficio del café también puede realizarse por vía seca, esta modalidad es la más antigua entre los procesos de transformación del café (Vincent, 1987), la cual consiste en la extracción de humedad o secado del grano en fruto, sin despulpar y, posteriormente, se retira la cáscara mecánicamente (Coste, 1989). Aunque este proceso se caracteriza por mayores tiempos, se destaca por un menor consumo de agua con respecto al café lavado y, por consiguiente, una disminución de la cantidad de sub-productos obtenidos durante el beneficio, que le otorgan a este tipo de café características de sostenibilidad ambiental y amigable con el medio ambiente (Borém et al., 2018; Isquierdo et al., 2013). En general, presenta atributos de calidad sensorial relacionados con la baja acidez y mayor calificación en cuerpo respecto a los lavados (Borém, et al., 2007; Borém

et al., 2018; Clifford, 1985; Osorio et al., 2022; Villela, 2002). Además, Bressani et al., (2021), reportan en café naturales fermentados con *Saccharomyces cerevisiae* y *Torulaspota delbrueckii* puntajes SCA de la bebida alrededor de 84,6 puntos, además de notas cítricas, acidez pronunciada y dulzor medio-alto.

Desde el punto de vista de las tendencias del mercado del consumo del café a nivel mundial, se están generando cambios en los procesos tradicionales, llevando a los países productores a crear alternativas que satisfagan las exigencias de los consumidores, y que a su vez generen primas adicionales, que se reflejen en la calidad de vida del productor (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC], 2021). Dentro de este segmento, los café naturales ocupan un renglón significativo, principalmente en el ámbito internacional (Borém et al., 2018; Malta et al., 2013); sin embargo, en Colombia, los procedimientos actuales implementados para la obtención de café naturales son esfuerzos particulares que, en algunas ocasiones, generan resultados en los que se dificulta su reproducibilidad y consistencia. Parte de esto, tiene que ver con los procesos que se llevan a cabo durante la fase de secado (Borém et al., 2008), dado que, el fruto tiene un alto porcentaje de humedad al momento de su recolección (65% humedad) y es altamente susceptible a procesos fermentativos que generan alteraciones en la calidad física del grano y de la bebida (Borém et al., 2018; Resende et al., 2010; Siqueira et al., 2017). Bajo las anteriores circunstancias, el control y seguimiento al secado del café natural puede reducir las consecuencias negativas del secado en la calidad del grano y la bebida (Nilnont et al., 2012). Por lo tanto, el manejo apropiado de la humedad durante la obtención del café natural puede considerarse como un aspecto crítico tanto para su obtención como para su almacenamiento (Borém et al., 2018; Oliveira

et al., 2013; Osorio et al., 2022; de Melo Pereira et al., 2019).

Considerando la importancia actual del café natural, debido a su perfil de sabor único y específico en el segmento de comercialización de cafés de calidad y las variables que afectan la calidad física del grano y sensorial de la bebida, el presente estudio tuvo como objetivo investigar el efecto del método de secado para la obtención de café natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Frutos de café

Cada uno de los seis tratamientos de secado de café natural contó con nueve unidades experimentales, cada una compuesta de 200 kg de frutos de café, de los cuales cinco se procesaron durante los meses de mayo, junio, agosto, octubre y noviembre de 2020, y las cuatro unidades restantes en los meses de marzo, abril, mayo y junio del 2021. Los frutos de café de la variedad Cenicafé 1, se obtuvieron manualmente en estado de madurez 5-6 (Cromacafé®), provenientes del mismo lote de la Estación Experimental Naranjal, localizada a 1.381 m de altitud en Chinchiná (Caldas, Colombia). Para el año 2020, las condiciones de temperatura media fueron 21,7°C y de humedad relativa del 79,2%, y para el año 2021, la temperatura media fue de 20,9°C y humedad relativa del 83,5%. El proceso de secado se realizó en la sede la Granja de Cenicafé, localizada en Manizales a 1.305 m de altitud, con condiciones para el año 2020 de temperatura media de 21,6°C y humedad relativa del 80,3% y para el 2021 de temperatura media de 21,0°C y humedad relativa del 80%. Los frutos de café se clasificaron hidráulicamente para eliminar aquellos de inferior calidad y se realizó la clasificación manual para retirar frutos verdes o pintones de la masa.

### Tratamientos de secado

Los frutos de café cereza fueron sometidos a los siguientes procesos (cinco de café natural y uno de café lavado):

- Café cereza sin despulpar secado 100% al sol (**S100%**), en un secador parabólico con 2,0 cm de capa y con frecuencia de cuatro volteos al día.
- Tres tratamientos de café cereza con secado combinado, el primero con disminución del porcentaje inicial de humedad al 45% por secado al sol y finalizado en secado mecánico (**S45%+M**); el segundo con disminución del porcentaje de humedad al 50% por secado al sol y finalizado con secado mecánico (**S50%+M**); y el tercero con disminución del porcentaje de humedad al 55% por secado al sol y finalizado con secado mecánico (**S55%+M**).
- Un tratamiento de café cereza sin despulpar, secado 100% en silo, en un secador de capa fija con 35 cm de capa y con temperatura de aire de secado de 40°C (**M100%**) con intercambio de flujo.
- Testigo absoluto, café con beneficio húmedo tradicional con secado mecánico (**LM**). Después de la recolección y clasificación, el testigo fue despulpado en un tiempo inferior a 6 horas, se realizó fermentación espontánea con estimación del tiempo de lavado asociado al uso del Fermaestro® (Peñuela et al., 2013), y secado mecánicamente en un silo con la capa fija de 35 cm y temperatura del aire de 40°C, hasta alcanzar un porcentaje de humedad, entre el 10,0% y el 11,5%.

A cada tratamiento se le realizó el seguimiento de secado registrando la temperatura del fruto de café con un termómetro fijado en la masa, la humedad relativa se



midió mediante un termohigrómetro digital y la pérdida de peso de la masa de café se evaluó en la mañana y en la tarde, en una balanza con resolución  $\pm 0,1$  g hasta que los granos de café alcanzaron el peso establecido para la humedad comprendida entre el 10% y el 12% (bh). Para cada muestra, se estimó el contenido de humedad del café de manera directa y se caracterizó física y sensorialmente.

Para cada tratamiento y unidad experimental se determinó el contenido de humedad de los frutos de café maduros empleando el método estándar de estufa, según la ISO 6673 (International Organization for Standardization, 2003). Posteriormente, se determinó el contenido de humedad inicial de los frutos, se estimaron los pesos de los frutos para alcanzar la humedad de cambio de los procesos de secado y la humedad final, empleando la Ecuación <1> (Jurado et al., 2009).

$$Chf = \left[ 1 - \frac{P_i(1 - Chi)}{P_f} \right] \times 100 \quad <1>$$

Donde:

*Chf*: contenido final de humedad estimada (%)

*Pi*: masa inicial del café (g)

*Chi*: contenido inicial de humedad (%)

*Pf*: masa final (g)

Adicionalmente, se calculó la proporción de pérdida de peso diariamente con la Ecuación <2>:

$$Pp = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad <2>$$

Donde:

*Pp*: pérdida de peso (%)

*Pi*: masa inicial del café (g)

*Pf*: masa final (g)

## Calidad física y sensorial

Una vez obtenidas las muestras secas de café natural, se determinó el porcentaje de humedad y la actividad de agua (*aw*). Los granos de café almendra verde se obtuvieron mediante el proceso de trilla de 500 g de café natural para eliminar la cáscara seca, se retiraron los defectos físicos e impurezas del grano y se determinó el porcentaje de almendra sana y merma.

En el café almendra verde obtenido de las cerezas secas, se realizó el análisis físico y de humedad, bajo las normas técnicas y los procedimientos de calidad para el café (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). Se tomaron 100 g de la cereza seca y se determinó la humedad en el medidor Kett y el método de estufa (International Organization for Standardization, 2003), por duplicado. En una caja de Petri se pesaron 10 g de café y se dejaron en una estufa a una temperatura de  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ , durante 16 horas. La actividad de agua (*aw*) se determinó en el café cereza seco, pergamino y almendra verde de la misma muestra, utilizando el equipo Lab Master Neo – Novasina, aplicando un método manual, donde el equilibrio y la estabilidad de lectura se alcanzaba cuando la variación no superaba  $\pm 0,003$  durante dos minutos con control de temperatura de medición ( $24^\circ\text{C}$ ) (Osorio et al., 2022).

Dada la importancia que tiene el equilibrio higroscópico en el grano de café para la calidad final, se evaluó la correlación entre el contenido de humedad y actividad de agua en el café almendra, en varios de los tratamientos del estudio.

El análisis sensorial se realizó para cada uno de los tratamientos y unidades experimentales, siguiendo el protocolo de preparación SCA (Specialty Coffee

Association SCA, 2003) con la participación de cinco catadores certificados Q- Grader por el CQI (Coffee Quality Institute). En las muestras se evaluaron diez atributos del sabor del café, tales como: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje del catador, defectos y el puntaje total. La calidad sensorial fue expresada como puntaje total SCA.

### Análisis de la información

Para cada tratamiento de secado del CN y el testigo LM, con la variable de interés (puntaje total SCA) y los atributos complementarios, se determinó el promedio, la desviación estándar, el máximo, el mínimo con las nueve repeticiones de los seis tratamientos evaluados, y adicionalmente se realizó la ANOVA. También se utilizó la prueba de modelos lineales generalizados al 10% para comparar los promedios de los atributos evaluados en los tratamientos del CN y el testigo LM. Posteriormente, con los descriptores cualitativos del atributo fragancia/aroma del análisis sensorial se realizó un

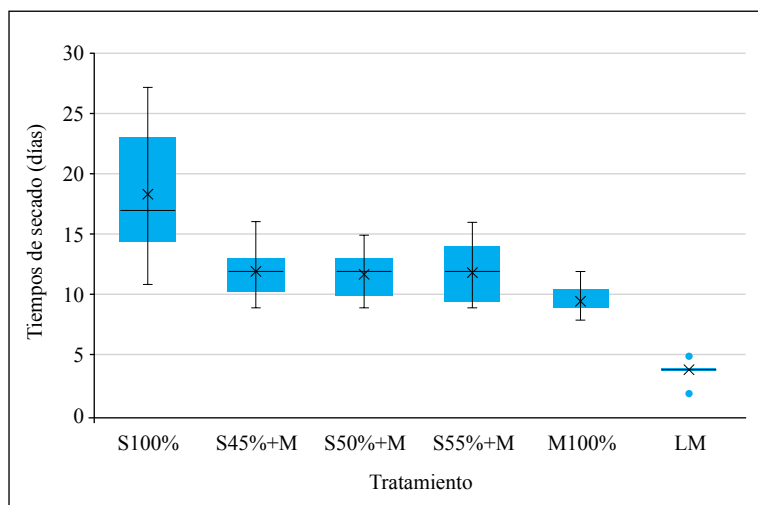
análisis de minería de texto. Finalmente, se realizó el test de correlación de Spearman y su representación gráfica en un mapa de calor entre las variables sensoriales y las físicas (humedad y  $aw$ ) evaluadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Seguimiento de los tratamientos de secado natural y testigo café lavado

Se realizó el seguimiento del secado registrando la temperatura (°C) y la pérdida de peso de la masa de café (%). En la Figura 1 se presentan los promedios del tiempo de secado (días) del café natural y del lavado, en cada tratamiento. En general, para los diferentes tratamientos de secado de café natural, la humedad inicial promedio correspondió al 68,9% (b.h), a partir de este valor los tratamientos necesitaron diferentes tiempos de secado para alcanzar los valores de humedad entre el 10% y el 12%, los cuales corresponden al nivel adecuado para la comercialización.

La Figura 2 presenta los cambios de la pérdida de humedad a través del tiempo



**Figura 1.** Tiempos de secado para los diferentes tratamientos evaluados de CN y LM (testigo).

(valores observados y valores estimados) para cada uno de los tratamientos evaluados, considerando que el proceso de secado llega a su fin una vez la masa de café alcanza una humedad entre el 10% y el 12%. Para el grupo de CN, la alta variación de los registros no permitió establecer diferencias para distinguir alguna favorabilidad relacionada con la modalidad del secado, es decir, mientras el tiempo de secado promedio para el S100% fue de 19 días con un máximo de 27 días y un mínimo de 11 días, para el S45%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 16 días y un mínimo de 9 días, para el S50%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 15 días y un mínimo de 9 días; para el S55%+M el tiempo de secado promedio fue de 12 días con un máximo de 16 días y un mínimo de 9 días; mientras que para el M100% el tiempo de secado promedio fue de 10 días con un máximo de 12 días y un mínimo de 8 días. Contrario a lo anterior, para el testigo LM fueron necesarios 4 días para alcanzar la humedad requerida, un mínimo de 2 días y un máximo de 5 días. Los resultados revelan que el proceso de secado del CN representa una etapa crítica para su obtención, dado que aun en condiciones rigurosas en el proceso

de secado como las del presente estudio, fue evidente una alta variabilidad en comparación con la registrada en el testigo absoluto.

El proceso de secado para obtener café natural en los tratamientos fue explicado a partir de la siguiente expresión logarítmica que se presenta en la Ecuación <3>:

$$Y = -a(\log \text{ natural}(b)) + c \quad <3>$$

Donde:

Y= porcentaje de humedad (%)

a y c = constantes (adimensional)

b = tiempo (días)

En la Tabla 1 se presentan las expresiones logarítmicas ajustadas para cada tratamiento de café natural y su respectivo coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>). A partir de dicha información, puede hacerse el seguimiento respectivo a la humedad de la masa de café durante los días de proceso, siempre y cuando se utilice el mismo procedimiento desarrollado por esta investigación (selección de frutos, espesor de la capa de secado y temperatura de secado) para cada caso.

**Tabla 1.** Expresiones logarítmicas ajustadas para cada tratamiento de secado del café evaluado.

Tratamiento	Ecuación	R <sup>2</sup>
S100%	Y=-21,350*Ln(días)+64,5442*	0,9542
S45% + M	Y=-29,832*Ln(días)+82,1249*	0,9693
S50% + M	Y=-28,377*Ln(días)+76,8185*	0,9573
S55% + M	Y=-27,456*Ln(días)+75,3095*	0,9589
M100%	Y=-26,972*Ln(días)+17,3399*	0,9224

Las tendencias matemáticas y ecuaciones descritas pueden constituir una herramienta de significativo valor teórico y conceptual, a través de las cuales pueden identificarse los momentos críticos en el secado del CN y llevar a cabo estrategias de control para alcanzar resultados consistentes y reproducibles, dado que uno de los principales obstáculos para obtener CN de buena calidad tiene que ver con el manejo impreciso de algunos procedimientos en la fase de poscosecha del grano. En consecuencia, las expresiones matemáticas descritas evidencian que, aplicando un proceso combinado de secado se logra entre el 62% y el 68% de pérdida de humedad durante los primeros 5 a 6 días de proceso, con altos niveles de significancia (Tabla 1). Esta condición se alcanzó en un 80% en el tratamiento M100% durante el mismo período.

Para el tratamiento LM la tendencia registrada fue de tipo lineal, con un coeficiente de determinación de 0,973 ( $R^2$ ). Teniendo en cuenta que aun con el café lavado, la calidad puede afectarse en función de un manejo inoportuno en el proceso de secado (tiempos, empaques, instalaciones, etc), es así como el uso de los modelos generados puede constituir una alternativa para llevar a cabo un seguimiento preciso y riguroso para lograr CN, en condiciones óptimas de almacenamiento y comercialización, considerando los mismos indicadores que para tal fin se tienen para el café obtenido por vía húmeda.

### **Humedad del café natural y café lavado**

Se evaluó tanto la humedad del café natural (CN) y del café lavado (LM), incluida la cereza seca completa, como la humedad de la almendra obtenida a partir de la trilla, a través del método directo de la estufa, a 105°C, durante 16 horas (International Organization for Standardization, 2003). La humedad promedio del CN en cereza osciló entre el

11,8% y 13,6%, mientras que la humedad promedio del LM en café pergamino seco (cps) estuvo entre el 11,48% y 13,22% (Figura 3A). El contenido de humedad promedio del café almendra del grupo correspondiente al CN (cereza seca con almendra) fue de 11,13%, mientras que la humedad de la almendra del café lavado fue de 12,36%. Osorio et al. (2022) establecieron que la diferencia de humedad de la cereza seca respecto a la almendra fue de 2,2% atribuida a los compuestos de la pulpa de café (Rodríguez et al., 2020). Con base en esta aproximación, los tratamientos evaluados mantuvieron una variación porcentual similar a la que exhibe el café obtenido por vía húmeda en términos comerciales; es decir, el CN resultante de las modalidades de secado descritas, puede ser utilizado luego del proceso de trilla para torrefacción, al igual que el café lavado.

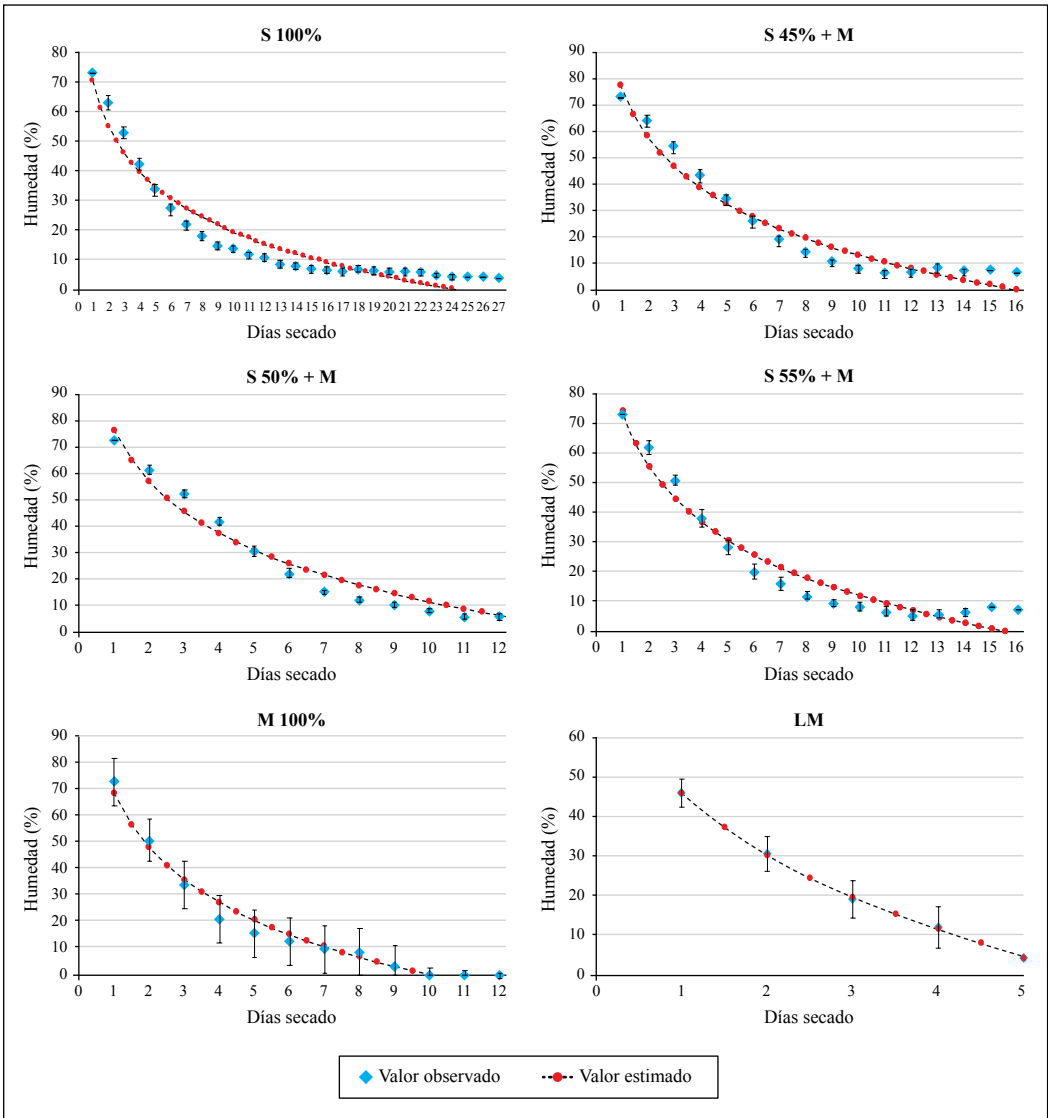
Las humedades del café natural y el café lavado se encontraron dentro del rango para la preservación de la calidad del grano (10,5% a 12,5%), y las diferencias entre los tratamientos de CN fueron en promedio de 1,54%, como lo indica la Tabla 2.

### **Actividad de agua (aw)**

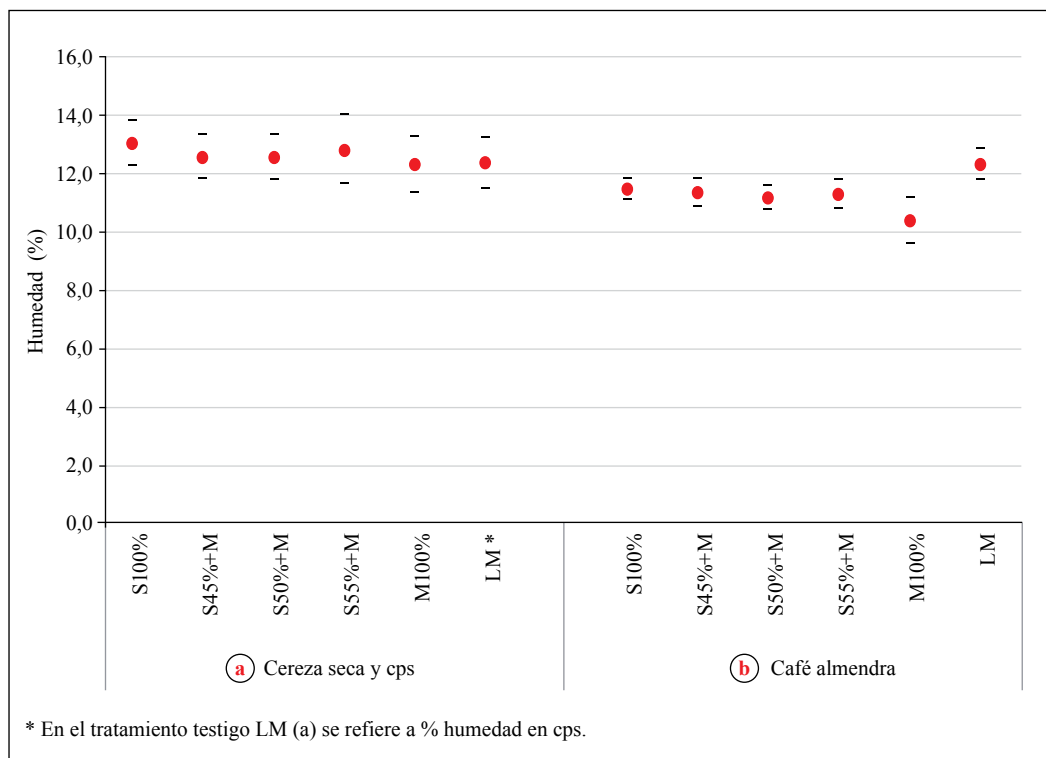
Desde el punto de vista físico, la actividad del agua y el contenido de humedad del grano dependen significativamente de reacciones químicas y microbianas (Multon, 1991). El valor de  $aw$  varía entre 0,0 y 1,0, es de resaltar que la actividad de agua obtenida en todos los tratamientos fue inferior a 0,7 siendo este el valor de referencia para evitar el inicio del deterioro físico, químico o biológico (Puerta, 2006). La  $aw$  de la cereza seca con almendra en los tratamientos del grupo del CN varió entre 0,53 y 0,60, y su contenido promedio fue 0,56 (Figura 4). El comportamiento de esta variable en la almendra sola presentó un promedio de 0,60 para todos

los tratamientos (Figura 4). Mientras que la actividad de agua para el cps obtenido con el café lavado (testigo) estuvo entre 0,59 a 0,67 y para la almendra del LM entre 0,61 a 0,69. La baja actividad de agua del café

natural en todas las combinaciones de secado probadas, disminuyen la probabilidad del crecimiento de microorganismos que alteran la inocuidad del grano y afectan el proceso de tueste (Osorio et al., 2022).



**Figura 2.** Cambios en el contenido de humedad del café natural y café lavado para los diferentes tratamientos de secado evaluados.

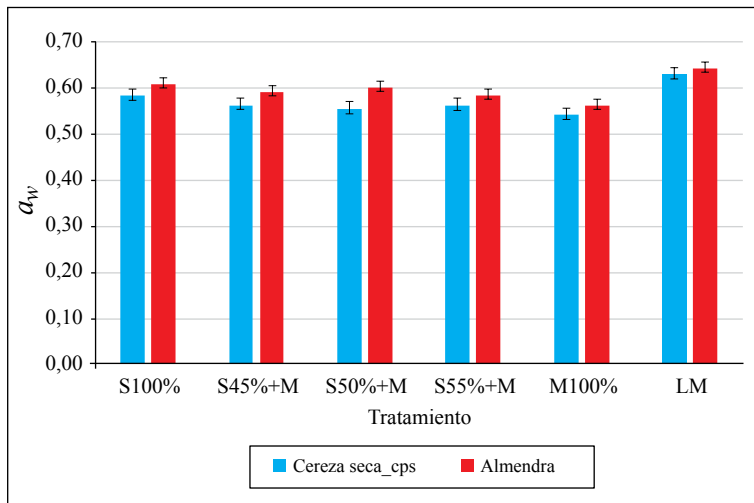


**Figura 3.** a). Promedio e intervalos de confianza de la humedad del café natural (cereza seca con almendra y almendra sola); b). Promedios e intervalos de confianza de la humedad del café lavado (pergamino seco y almendra).

**Tabla 2.** Contenido de humedad del café procesado.

Tratamiento	Humedad cereza (%)*		Humedad almendra (%)		Diferencia Promedio
	Promedio	Desv.	Promedio	Desv.	
S100%	13,05	1,00	11,46	0,41	1,59
S45%+M	12,58	0,98	11,35	0,64	1,23
S50%+M	12,55	1,02	11,16	0,57	1,39
S55%+M	12,81	1,55	11,27	0,61	1,54
M100%	12,32	1,29	10,39	1,01	1,93
LM	12,15	1,03	12,36	0,72	-0,21

\* En el tratamiento testigo LM la humedad cereza se refiere al porcentaje de humedad en café pergamino seco.



**Figura 4.** Promedio e intervalos de confianza de la actividad de agua ( $a_w$ ) del café natural (cereza seca con almendra y cps) y del café almendra sola.

### Relación de contenidos de humedad y actividad de agua ( $a_w$ )

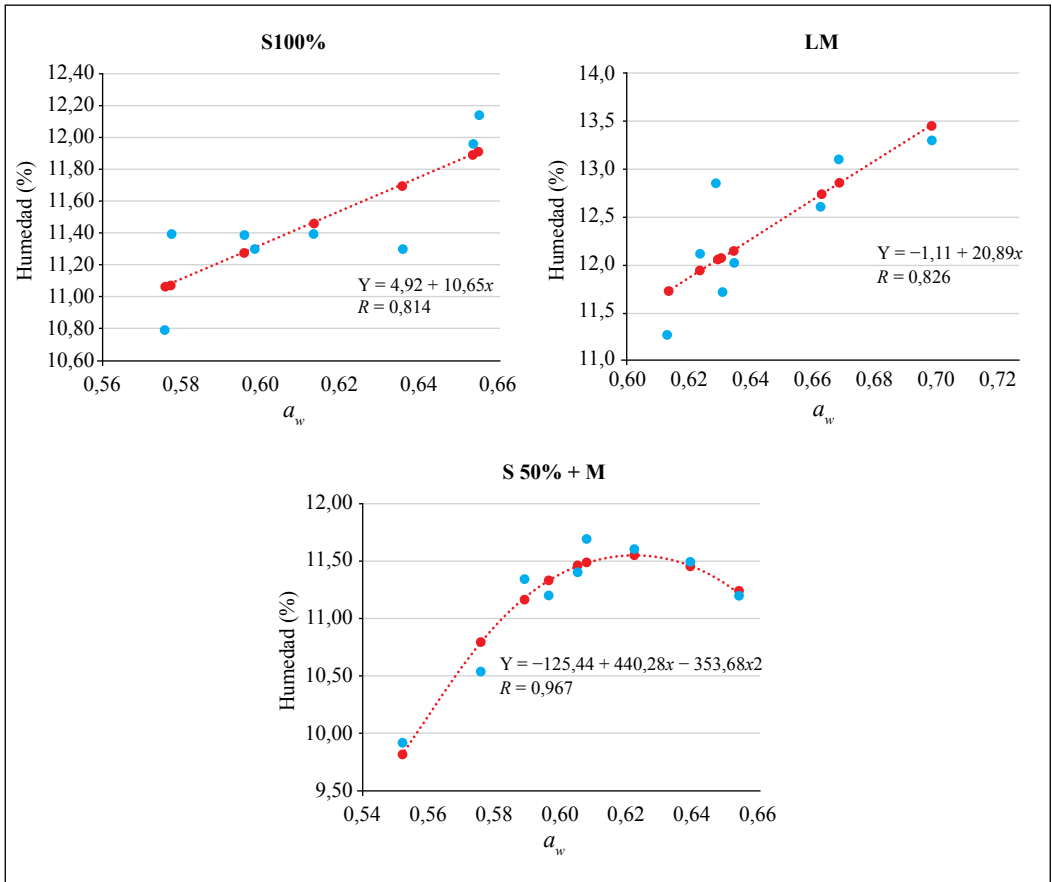
La relación del contenido de humedad de los granos de café almendra procesados vía seca y húmeda en los tratamientos S100% y LM y la actividad de agua fue lineal, con un coeficiente de correlación superior al 60% y un coeficiente de determinación del 81,4% y 82,6%, respectivamente (Figura 5), es decir, a mayor porcentaje de humedad (11,89% y 13,30%) mayor contenido de  $a_w$  en café almendra. Por el contrario, el tratamiento S50%+M presentó un comportamiento polinomial de grado dos, entre estas dos variables con un coeficiente de determinación del 96,7% (Figura 5), con una humedad de 11,20% y  $a_w$  de 0,65. Mientras que Puerta (2006), para cafés lavados encontró una relación logarítmica entre el contenido de humedad y la  $a_w$  con un  $R^2$  de 0,923. Además, cabe resaltar que el tratamiento S100% presentó un mayor tiempo de secado en comparación con los otros tratamientos, con temperatura mínima y máxima en el secado de 18 y 28°C, respectivamente. De igual forma Siqueira et al. (2017) concluyeron que la tasa de reducción de agua es más alta para la temperatura de secado

de  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , especialmente en los contenidos de humedad más altos.

### Calidad física

Los resultados del análisis físico que hacen referencia al aspecto visual del café, evidencian que el tratamiento que corresponde al S45%+M presentó el promedio más alto de almendra sana (43,6%) del total del café cereza seco y para el café lavado fue de 76,7%; el porcentaje de almendra sana corresponde a la cantidad de granos sin defecto presente en una cantidad determinada de café, para el caso de los cafés lavados el promedio se estima en 75,0% y valores superiores indican una mejor calidad, pero para el café natural no hay un valor de referencia.

El porcentaje de merma en el CN, es decir, la cantidad de cáscara (pulpa y mucílago seco) que queda adherida al grano almendra fue de 50,71%, el cual fue mayor que el obtenido en el café lavado (25,46%). De forma similar, Osorio et al. (2022) encontraron para café natural con combinación de secado, porcentajes de merma entre 54,1% y 55,9%.



**Figura 5.** Correlación del porcentaje de humedad y actividad de agua ( $a_w$ ) en café almendra procesado vía seca.

Con relación a los defectos que afectan la evaluación sensorial, en promedio el café natural presentó para todos los tratamientos un 6,07% de pasilla, 4,63% de granos brocados y 2,83% de granos negros y vinagres. El café lavado presentó en estos mismos defectos 2,87% de pasilla, 3,99% de granos brocados y 0,14 de granos negros y vinagres (Tabla 3).

### Calidad sensorial

Se evidenció el defecto fermento en dos repeticiones, en los tratamientos S100% y S45%+M, lo que representó un 5,5% de

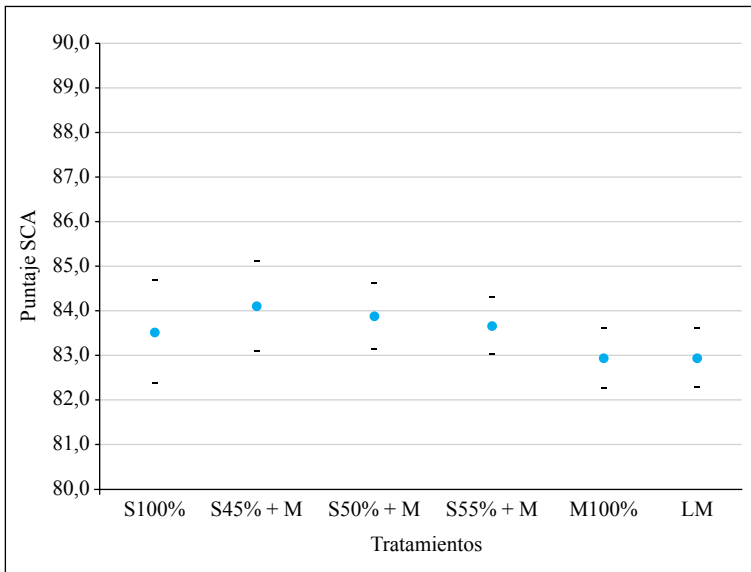
defectos sensoriales. El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas en la calidad sensorial, expresada como puntaje total SCA, en los tratamientos evaluados CN y LM (Figura 6). El S45%+M, S50%+M y S55%+M presentaron valores promedio de 84,1; 83,9 y 83,7, respectivamente, los cuales son clasificados como café muy bueno, tipo especial y con una intensidad promedio para estos tratamientos, con valores en sabor de 7,5, acidez de 7,6 y cuerpo de 7,6 en la escala SCA de 6-10. El tratamiento de café natural M100% presentó un puntaje promedio de 82,9, similar al café lavado testigo.



**Tabla 3.** Calidad física del café natural y el café lavado (testigo).

Tratamiento	S100%		S 45%+M		S50%+M		S 55%+M		M100%		LM	
	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E	Prom.	E.E
<b>Brocado</b>	5,01	1,59	4,75	1,41	4,67	1,36	4,92	1,76	3,82	1,21	3,99	1,49
<b>Negro y vinagre</b>	3,36	1,64	3,52	1,30	3,77	1,54	2,66	0,85	0,82	0,29	0,14	0,08
<b>Pasilla</b>	6,47	0,86	5,06	0,96	6,24	1,37	5,99	1,24	6,59	1,11	2,87	0,77
<b>Merma*</b>	50,02	0,83	49,64	0,58	50,39	0,87	50,51	0,65	53,00	0,68	25,46	5,49
<b>Almendra sana**</b>	42,6	3,8	43,6	1,6	42,2	1,7	42,8	1,6	41,7	1,0	76,7	1,6

\* Incluye la cáscara. \*\* Calculada con respecto a la almendra sin defectos/500g de cereza seca.



**Figura 6.** Intervalos de confianza del puntaje total SCA de café natural y café lavado respecto a los tratamientos.

En la fragancia/aroma, según prueba de modelos lineales generalizados al 10%, se observaron promedios de 7,90 para el tratamiento S45%+M, 7,93 para el tratamiento S50%+M y 7,89 para el tratamiento S55%+M, con diferencias respecto al testigo (LM) con

7,66 (Tabla 4). Estos atributos en el LM se encuentran dentro de los rangos reportados para cafés lavados de buena calidad por fermentación natural (Ribeiro et al., 2017). Los demás atributos evaluados no evidenciaron diferencias entre los tratamientos de café natural y el testigo.

**Tabla 4.** Promedio y desviación estándar (D.E) para cada una de las variables evaluadas en el análisis sensorial.

Tratamiento	Variable	Promedio	A	DE	LM (testigo)		
					Promedio	A	DE
M100%	Fragancia/Aroma	7,78	A	0,18	7,66	A	0,15
	Sabor	7,46	A	0,15	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,42	A	0,14	7,46	A	0,12
	Acidez	7,64	A	0,18	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,57	A	0,14	7,57	A	0,14
	Balance	7,49	A	0,13	7,50	A	0,10
S100%	Fragancia/Aroma	7,72	A	0,36	7,66	A	0,15
	Sabor	7,44	A	0,58	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,32	A	0,52	7,46	A	0,12
	Acidez	7,47	A	0,58	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,54	A	0,50	7,57	A	0,14
	Balance	7,40	A	0,55	7,50	A	0,10
S45%+M	Fragancia/Aroma	7,90	A	0,22	7,66	B	0,15
	Sabor	7,31	A	0,76	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,20	A	0,69	7,46	A	0,12
	Acidez	7,40	A	0,81	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,44	A	0,48	7,57	A	0,14
	Balance	7,29	A	0,75	7,50	A	0,10
S50%+M	Fragancia/Aroma	7,93	A	0,17	7,66	B	0,15
	Sabor	7,70	A	0,16	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,59	A	0,17	7,46	A	0,12
	Acidez	7,71	A	0,19	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,66	A	0,17	7,57	A	0,14
	Balance	7,61	A	0,17	7,50	A	0,10
S55%+M	Fragancia/Aroma	7,89	A	0,19	7,66	B	0,15
	Sabor	7,59	A	0,18	7,54	A	0,17
	Sabor residual	7,48	A	0,12	7,46	A	0,12
	Acidez	7,74	A	0,13	7,61	A	0,19
	Cuerpo	7,67	A	0,13	7,57	A	0,14
	Balance	7,62	A	0,14	7,50	A	0,10

Letras no comunes indican diferencias significativas según prueba de modelos lineales generalizados al 10%.

El análisis de minería de datos identificó para el tratamiento S100% que el descriptor frutal presentó una frecuencia del 22% y tiene una correspondencia directa con los descriptores vinosos, malta, uvas, pasas, miel y almendra, que representan en conjunto el 60,6%. En el tratamiento S45%+M el descriptor sobresaliente fue el chocolate con 16,7%, con una correspondencia directa con el caramelo y frutal en un 40,1%. Para el tratamiento S50%+M el principal descriptor fue frutal con una frecuencia del 11,4% y una correspondencia con arazá y manzana que representan en conjunto el 31,4%. En el tratamiento S55%+M su mayor descriptor fue caramelo con un 26,3% y sus correspondencias miel y cereza con un 42,1%. Para el tratamiento M100% el descriptor característico fue miel, con una correspondencia directa de 20,5% con pasas y uvas. Para el café lavado el descriptor que se presentó con mayor frecuencia fue almendra con 20% y su correspondencia directa fue con miel y dulce en 50%. Es importante resaltar que en los tratamientos evaluados los descriptores con mayor ponderación del café procesado vía seca son frutales, chocolate, caramelo y miel (Figura 7).

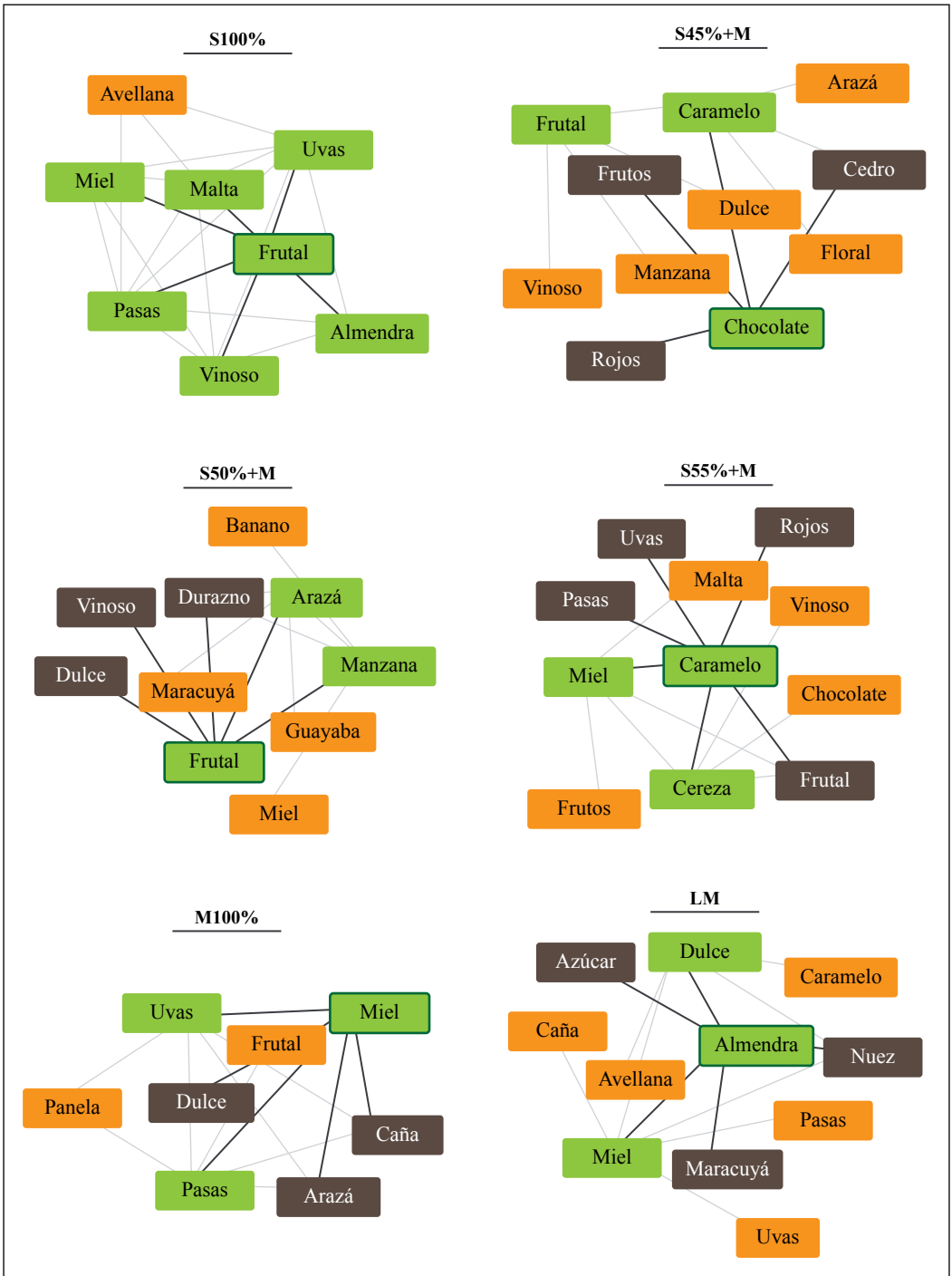
En la Figura 8 se muestra una correlación directa entre variables sensoriales e inversa a las físicas, observando una separación evidente entre ellas y una correlación positiva con el puntaje total SCA, puntaje de catador, fragancia /aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance y almendra sana, así como una correlación negativa con *aw* y porcentaje de humedad en almendra, cereza seca y café pergamino. Los atributos sensoriales con mayor relación con el puntaje total SCA son el sabor residual (0,97), balance (0,96) y acidez y sabor (0,95), con respecto a las variables de actividad de agua en cereza y almendra que tienen una correlación con un valor de 0,62.

En este estudio se puede concluir que:

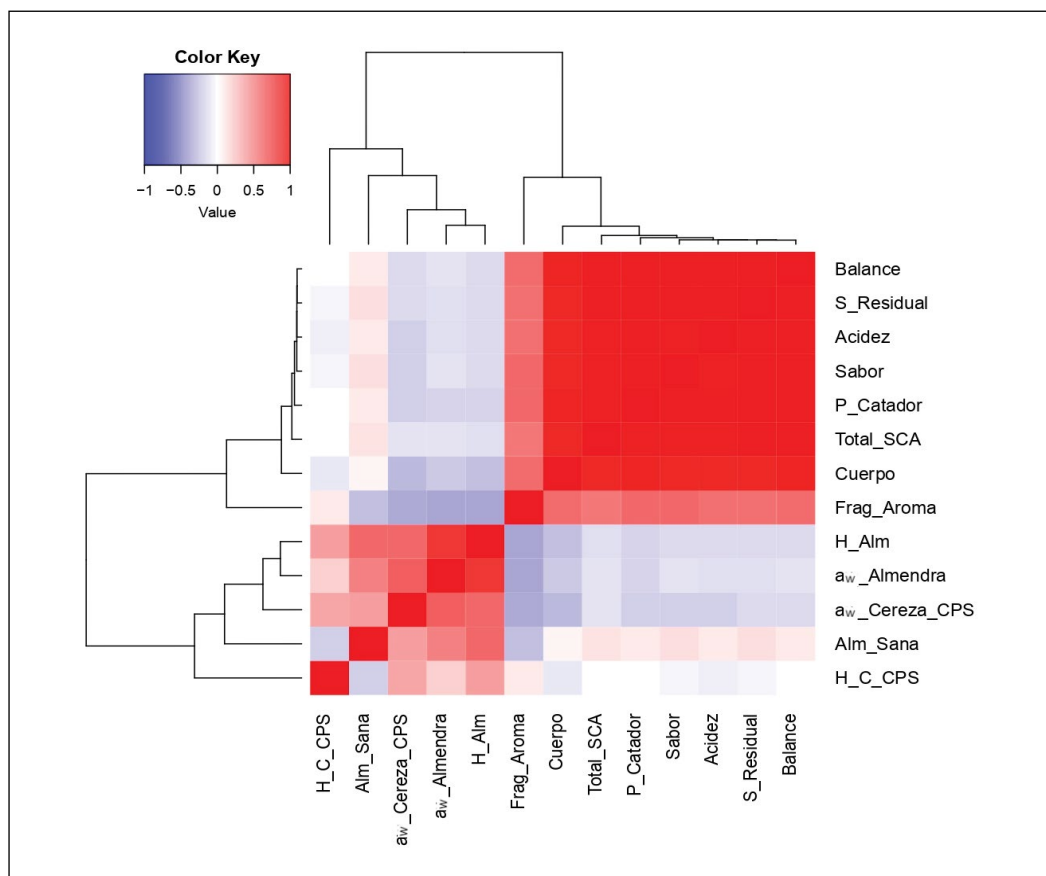
- El secado fue determinante para obtener CN con destacadas características, físicas y sensoriales. Dichas variables fueron explicadas satisfactoriamente para los diferentes tratamientos objeto de estudio, a partir de ecuaciones de tipo logarítmico y exponencial, con alto nivel de significancia en sus parámetros y coeficientes de determinación.
- Desde el punto de vista de la calidad física del grano, el CN presentó bajos valores de actividad de agua, disminuyendo así la probabilidad del crecimiento de microorganismos que alteran la inocuidad del grano e inconvenientes en el proceso de tueste. Adicionalmente, el porcentaje promedio en la merma fue de 50,7%, almendra sana de 42,6% mientras que la almendra defectuosa tuvo valores entre 2,6% y 6,6%.
- Con relación a la calidad sensorial, mientras que el café lavado tuvo un puntaje promedio total SCA de 82,9, el CN fue equivalente a 83,9, catalogándolo en la en la categoría “bueno” según la escala de valoración SCA, baja acidez, destacables atributos en fragancia/aroma, con descriptores asociados a chocolate, frutal, caramelo y miel, notas de pulpa dulce y vino.

## AGRADECIMIENTOS

En la Disciplina de Biometría a Rubén Darío Medina y Esther Cecilia Montoya. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y Jhon Félix Trejos. Al doctor Juan Rodrigo Sanz de la Disciplina de Poscosecha. En la Disciplina de Calidad a Jenny Pabón, Paola Calderón, Wilson Vargas, Víctor Castañeda y el personal de apoyo Benjamín Sánchez. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número CAL102003.



**Figura 7.** Minería de texto en los tratamientos de proceso de café natural y del café lavado (testigo). Cajas con color similar indican correspondencia directa entre los atributos evaluados.



**Figura 8.** Mapa de calor de las correlaciones entre las variables sensoriales y las físicas. "Color key" presentado en la parte superior, indica la escala de valores correspondientes a los colores de la figura.

## LITERATURA CITADA

- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Alves, G. E., Ribeiro, D. E., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. (2018). Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates. *Coffee Science*, 13(2), 159–167. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1410>
- Borém, F. M., Reinato, C. H. R., & Andrade, E. T. (2007). Secagem do café. En F. M. Borém (Ed.), *Póscolheita do café* (pp. 203–240). Editora UFLA.
- Borém, F. M., Marques, E. R., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 99(1), 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.027>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2021). Influence of yeast inoculation on the quality of fermented coffee (*Coffea arabica* var. Mundo Novo) processed by natural and pulped natural processes. *International Journal of Food Microbiology*, 343, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109107>
- Clifford, M. N. (1985). Chemical and Physical Aspects of Green Coffee and Coffee Products. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee: Botany, Biochemistry*

- and Production of Beans and Beverage (pp. 305–374). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_13)
- Coste, R. (1989). *Caféiers et cafés*. Maisonneuve et Larose.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNC]. (2021). *Informe de gestión 2020*. <https://doi.org/10.38141/10793/2020>
- 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>
- Isquierdo, E., Borém, F. M., Andrade, E. T., Corrêa, J. L., Oliveira, P., & Alves, G. (2013). Drying Kinetics and Quality of Natural Coffee. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56, 1003–1010. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13031/trans.56.9794>
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/188>
- Kulapichitr, F., Borompichaichartkul, C., Suppavorasatit, I., & Cadwallader, K. R. (2019). Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry*, 291, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.152>
- Malta, M. R., Rosa, S. D. V. F. da, Lima, P. M., Fassio, L. de O., & Santos, J. B. (2013). Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. *Revista Engenharia na Agricultura*, 21(5), 431–440. <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i5.450>
- Nilnont, W., Thepa, S., Janjai, S., Kasayapanand, N., Thamrongmas, C., & Bala, B. K. (2012). Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.007>
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Giomo, G. da S., Lima, R. R. de, & Cardoso, R. A. (2013). Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science*, 8(2), 203–211. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/414>
- Oliveros, C., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Peñuela, A. E. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. *Avances Técnicos Cenicafé*, 353, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Osorio, V., Pabón, J., Shuler, J., & Fernández-Alduenda, M. R. (2022). Efecto de la combinación de procesos de secado en la calidad del café natural obtenido vía seca. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73101. <https://doi.org/10.38141/10778/73101>
- Peñuela, A. E., Pabón, J. P., & Sanz, J. R. (2013). Método fermaestro: Para determinar la finalización de la Fermentación del mucilago de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 431, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/479>
- Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- Puerta, G. I. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Revista Cenicafé*, 50(1), 78–88. <http://hdl.handle.net/10778/58>
- Resende, O., Rodrigues, S., Siqueira, V. C., & Arcanjo, R. V. (2010). Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. *Acta Amazonica*, 40(2), 247–255. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000200002>
- Rodríguez, R. A., Sánchez, J. L., & García, J. M. R. (2020). Evaluation of coffee pulp as substrate for polygalacturonase production in solid state fermentation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(2), 117–124. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i2.2068>
- Siqueira, V. C., Borém, F. M., Alves, G. E., Isquierdo, E. P., Pinto, A. C. F., Ribeiro, D. E., & Ribeiro, F. C. (2017). Drying kinetics of processed natural coffee with high moisture content. *Coffee Science*, 12(3), 400–409. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1320>
- Specialty Coffee Association SCA. (2003). *Cupping Protocols*. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Villela, T. (2002). *Qualidade de café despulpado, desmucilado, descascado e natural, durante o processo de secagem* [Tesis de Maestría]. Universidade Federal de Lavras.
- Vincent, J.-C. (1987). Green Coffee Processing. En R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.), *Coffee: Volume 2: Technology* (pp. 1–33). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-3417-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-009-3417-7_1)

**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**

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.  
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.  
Wílmara 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  
María de los Ángeles Peña P., Aprendiz

**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. en  
Ingeniería  
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.  
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga, M.Sc.  
Luz Fanny Echeverry G., Química  
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química  
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción  
Agropecuaria Ecológica  
Lina María González C., Química Industrial M.Sc\*.  
Claudia Tabarez A., Ing. Química\*  
Lady Juliet Vargas G., Ing. Alimentos\*  
Érica Patricia Corredor T., Licenciada en Ciencias  
Naturales y Educación\*  
Wilson Vargas L.  
Víctor Manuel Castañeda G.

**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.  
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph.D.  
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.  
Lucio Navarro E., Biólogo, Ph.D.

Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.  
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo  
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga  
Laura C. Holguín S., Microbióloga, M.Sc\*  
Bertilda Pedraza C., Bacterióloga, Esp. en Ciencia y  
Tecnología de Alimentos\*  
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo  
Juan David Gil González, Administrador de Empresas  
Agropecuarias  
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de  
Café  
Carlos Alberto Quintero A.  
Claudia Bibiana Tabares B.  
Faber de Los Ríos P.  
Diana Marcela Giraldo V.  
José Robín García C.  
Gloria Patricia Naranjo E.  
Ramón Antonio Montoya C.  
Paula Andrea Figueroa V., Pasante

**Fisiología Vegetal**

José Ricardo Acuña Z., Biólogo, Ph.D.  
Aristóteles Ortiz, Químico., M.Sc.  
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga  
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química  
Claudia Patricia Valencia V., Técnico en Producción de  
Café  
Claudia Marcela Mora A.  
Mario Franco A.

**Fitopatología**

Rosa Lilia Ferrucho., Ing. Agrónoma, Ph.D.  
Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de  
Computadores y Redes de Datos.  
Carlos Alfonso Doncel B., Tecnólogo Recursos Naturales  
José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción  
Agropecuaria  
Santiago Sánchez M., Tecnólogo en Aseguramiento de la  
Calidad en Empresas Agroindustriales  
Sergio Alejandro Valencia A., Tecnólogo en Gestión de  
Empresas Agropecuarias  
Jorge Dicksson Ocampo M.  
José Gilmar Carmona V.  
Ana Sofía Henao D., Aprendiz  
Laura Tatiana Correa M., Pasante

**Fitotecnia**

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo  
Alexander Jaramillo J.  
Andrea Monroy G., Pasante

### **Mejoramiento Genético**

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.  
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
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  
Omar Villarreal  
Romario Palacio C., Pasante  
Juan David García H., 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.  
César Augusto Ramírez G., Arquitecto, M.Sc.  
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.  
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química, M.Sc.  
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola, M.Sc.  
Juan Carlos Vargas R., Arquitecto  
Sandra Paola Moreno R., Ing. Biológica, M.Sc.\*  
Ingrid Paola Hower G., Ing. Alimentos, Esp\*  
Jhoan Felipe García D., Ing. Alimentos\*  
Carol Vanessa Osorio V., Ing. de Alimentos\*  
Willy Fernando Rojas B. Ing. Agroindustrial\*  
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica  
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura  
Samuel Castañeda  
Juan Carlos Ortiz F.  
Samuel Osbaldo López G.  
Laura Vanesa Cano R., Pasante  
Sharlop Daiana Acosta G., Aprendiz

### **Suelos**

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.  
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.  
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.  
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga, M.Sc.  
Vanessa Catalina Díaz P., Química, M.Sc.  
Eliana Gómez A., Tecnóloga Química  
Arturo Gómez V.  
Jaroliver Cardona G.

### **EXPERIMENTACIÓN**

---

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

### **Estación Experimental Naranja**

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc. en sistemas de producción Agropecuaria  
Tito Alberto Ramírez S.  
Juan Pablo Llanos C., Aprendiz

### **Estación Experimental El Rosario**

Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos (e)

### **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 Paraguaito**

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.

### **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  
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc  
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero  
Santiago Toro M., Aprendiz Universitario  
Alejandra Velásquez M., Pasante

### **Tecnología de la Información y Comunicaciones**

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico  
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.  
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp.  
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.  
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, Esp.  
Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas  
Luz Mayerly Buitrago B., Aprendiz

### **UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA**

---

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.  
Luz Adriana Jiménez Q., Técnico profesional en Contabilidad y Finanzas  
Rufina Perdomo G.  
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.  
Manuela Duque R., Pasante

#### **Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación**

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.  
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial  
Carolina Correa M., Profesional en Negocios Internacionales  
Lina María Giraldo, Administrador Financiero  
Lina María Buitrago A., Administrador de Empresas  
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  
Gabriel Antonio Melo P.  
Mariana Blandón Q., Aprendiz

#### **Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento**

Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.  
María Alejandra López R., Ing. Mecatrónica, Esp.  
Robinson Guzmán G., Técnico Electricista  
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica  
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera  
José Gildardo Aguirre O., Tecnólogo en Mantenimiento eléctrico industrial  
Oscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial

Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café  
Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico  
Albert Johane Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica–  
Técnico en Instalaciones de Redes Internas  
Freddy Alexander Sánchez O.  
Uriel López P.  
Fredy Hernán Osorio C.  
Jhon Fredy Rojo G.  
Carlos Andrés Hernández G.  
Mario López L.  
Ferney Cifuentes R.  
Luis Fernando López L.  
Andrea Hernández G., Aprendiz

#### **Gestión del Talento Humano**

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, 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  
Francy Estefanía Zape O., Pasante  
Camila Sánchez V., Aprendiz

#### **Planeación Financiera y Presupuesto**

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®  
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®  
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas  
Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas  
Valentina Osorio V., Administración de Empresas\*

\* Personal adscrito a la nómina variable de los Comités de Quindío, Cesar y Huila, quienes desarrollan actividades de investigación 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,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y no  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , 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  $5 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$ , y no  $5 \text{ g}$  de peso seco. $\text{día}^{-1}$
  - Se aplicaron  $25 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  del ingrediente activo, y no  $25 \text{ g i.a./ha}$
  - Cada planta recibió  $20 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$  de agua, y no  $20 \text{ g H}_2\text{O/ha}$  por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo:  $10 \text{ }^\circ\text{C/h}$  ó  $10 \text{ L/matera}$ ).
- 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  $14 \text{ y } 20^\circ\text{C}$  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 título, 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



**Cenicafé**

*Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938*

**[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)**

---

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