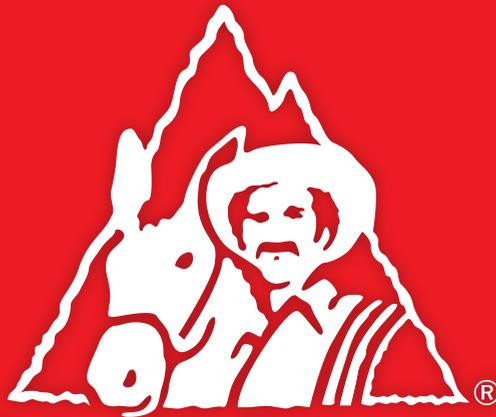


ISSN-0120-0275
ISSN-2711-3477 (En línea)
DOI-10.38141/10778

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Volumen 74 Número 2

Julio - Diciembre 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
Jimena Velasco Chaves

REPRESENTANTES GREMIALES

Periodo 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones

Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico

Gerardo Montenegro Paz

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

Uso del material de esta revista:

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

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

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

DOI - <https://doi.org/10.38141/rev.cenicafe74-2>

Editada en diciembre de 2023

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

E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com

www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 74

JULIO - DICIEMBRE 2023

No. 2

CONTENIDO

ASPECTOS BIOLÓGICOS Y REPRODUCTIVOS DE <i>Hypothenemus hampei</i> EN TRES TEMPERATURAS CONSTANTES EN <i>Coffea arabica</i> EN LABORATORIO. Marisol Giraldo Jaramillo	7
BIOLOGICAL AND REPRODUCTIVE ASPECTS OF <i>Hypothenemus hampei</i> AT THREE CONSTANT TEMPERATURES ON <i>Coffea arabica</i> IN A LABORATORY	7
CHISAS (COLEOPTERA:MELOLONTHIDAE) ASOCIADAS AL CULTIVO DEL CAFÉ <i>Coffea arabica</i> EN COLOMBIA Y CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS. Luis Miguel Constantino, Zulma Nancy Gil, Juan Guillermo Orrego, Cristian J. Zamorano, Pablo Benavides Machado, Carlos Roberto Ariza, Carlos Mario Ospina, Jhon Félix Trejos, Hernán Darío Menza	17
WHITE GRUBS (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) ASSOCIATED WITH THE CULTIVATION OF <i>Coffea arabica</i> COFFEE IN COLOMBIA AND CHARACTERIZATION OF DAMAGES	17
CONDUCTANCIA HIDRÁULICA FOLIAR EN ACCESIONES DE LA COLECCIÓN NÚCLEO DE <i>Coffea</i> SP. y progenies de la variedad Cenicafé 1. José Ricardo Acuña Zornosa; Cristian David Camilo; Carlos Andrés Unigarro Muñoz; Natalia Catalina Flechas Bejarano	43
LEAF HYDRAULIC CONDUCTANCE IN ACCESSIONS FROM THE CORE COLLECTION AND PROGENIES OF THE VARIETY CENICAFÉ 1	43
EFEECTO DE BOLSAS BIODEGRADABLES EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CAFÉ EN EL ALMÁCIGO. Jhon Félix Trejos Pinzón; José Raúl Rendón Sáenz; Bernardo Rivera Sánchez	55
THE EFFECT OF BIODEGRADABLE BAGS ON COFFEE GROWTH AND DEVELOPMENT DURING THE SEEDLING STAGE	55
INOCUIDAD DEL CAFÉ DURANTE LA INTERRUPCIÓN DEL SECADO MECÁNICO. Jenny Paola Pabón Usaquén; Valentina Osorio Pérez; Claudia Patricia Gallego Agudelo	70
ASSESSING THE SAFETY OF COFFEE DURING MECHANICAL DRYING INTERRUPTIONS. 70	
TAMAÑO DEL GRANO DESPULPADO EN LAS NUEVAS VARIEDADES DE CAFÉ. Luis Carlos Imbachí Quinchua, Rubén Darío Medina-Rivera, Juan Rodrigo Sanz Uribe	84
CHARACTERIZING DEPULPED COFFEE BEAN SIZES IN NEW COFFEE VARIETIES	84

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 Vegetal, Cenicafé
Diana María Molina V.	Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Luis Fernando Salazar G.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

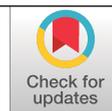
REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 74 No. 1 Y No. 2 - 2023

Álvaro Gaitán Bustamante.	Ph.D. Cenicafé
Pablo Benavides Machado.	Ph.D. Cenicafé FNC
Luis Fernando Salazar Gutiérrez.	M.Sc., Ph.D. Cenicafé FNC
Hernán González Osorio.	M.Sc., Ph.D. Cenicafé FNC
Dr. Juan Rodrigo Sanz Uribe.	Ph.D. Cenicafé FNC
Juan Carlos García López.	Ph.D. Cenicafé FNC
José Raúl Rendón Saenz.	M.Sc., Cenicafé FNC
Jhon Félix Trejos Pinzón.	M.Sc., Cenicafé FNC
Hernán Darío Menza Franco.	M.Sc., Cenicafé FNC
Myriam Cañón Hernández.	M.Sc., Cenicafé FNC
Héctor Flavio Álvarez Agudelo.	Ingeniero agrónomo, Cenicafé FNC
Andrés Felipe León Burgos.	Ingeniero agrónomo, Cenicafé FNC
Leonardo Rojas.	Esp., FNC
Andrés Duque.	Administrador de Empresas, Gerencia Estratégica de Proyectos. Comité de Cafeteros de Caldas, FNC
Delio Rodrigo Alarcón Suárez.	Ingeniero Químico. Almacafé FNC
Lucio Navarro.	Ph.D. Universidad de Texas
Iván Darío Aristizábal.	Ingeniero Agrícola. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
Helber Enrique Balaguera López.	Ingeniero Agrónomo. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
Alfonso Parra Coronado.	Ingeniero Agrícola. PhD. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
Mónica María Quintero Ortiz.	Química Ph.D. Industria Colombiana de Café SAS.
Juliana Cepeda Valencia.	Bióloga, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
Johanna Bajonero Cuervo.	Quality Control Specialist, Lee County Mosquito Control District, Lehigh Acres, Florida.
Dora Janeth García Jaramillo.	Licenciada en Biología y Química, M.Sc., Ph.D. Universidad de Caldas.
Carlos Alberto Parra Salinas.	Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Universidad de Caldas
Tito Bacca I.	Ph.D. en Ciencias- Biología, Universidad del Tolima
Jorge Ari Noriega.	Ph.D Universidad del Bosque, Bogotá
Nubia Esteban Duarte.	Matemática. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales
Fabio Alexis Torres Angarita.	Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
Lady Johanna Mazabel P.	Química, Alianza Bioersity - Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT .
Miguel Alfonso Castiblanco C.	Profesional en Bibliotecología e Ingeniero de Sistemas, Cenicafé, FNC

ASPECTOS BIOLÓGICOS Y REPRODUCTIVOS DE *Hypothenemus hampei* EN TRES TEMPERATURAS CONSTANTES EN *Coffea arabica* EN LABORATORIO

Marisol Giraldo-Jaramillo  *

Giraldo-Jaramillo, M. (2023). Aspectos biológicos y reproductivos de *Hypothenemus hampei* en tres temperaturas constantes en *Coffea arabica* en laboratorio. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74201. <https://doi.org/10.38141/10778/74201>



Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae) es la mayor plaga del cultivo del café alrededor del mundo. En Colombia afecta a la caficultura ocasionando daños al fruto que genera pérdidas económicas a los caficultores cada año. El presente estudio tiene como objetivo determinar los aspectos biológicos y reproductivos de *H. hampei*, incluyendo una tabla de vida parcial de fertilidad en tres temperaturas constantes (20, 25 y 30±1°C) en condiciones de laboratorio, sobre *Coffea arabica* var. Tabi. La broca del café completó su ciclo (huevo-adulto) entre 20°C y 30°C. En la temperatura de 25°C se presentaron los mayores valores de la tasa neta reproductiva (19,5), tasa de crecimiento intrínseca (0,08) y porcentaje de sobrevivencia de huevo-adulto (87%). Conocer el comportamiento biológico y reproductivo de broca del café en los diferentes genotipos utilizados en la caficultura colombiana puede ayudar a ajustar las estrategias de manejo integrado de esta plaga.

Palabras claves: Broca del café, parámetros demográficos, condiciones térmicas, café, Cenicafé, Colombia.

BIOLOGICAL AND REPRODUCTIVE ASPECTS OF *Hypothenemus hampei* AT THREE CONSTANT TEMPERATURES ON *Coffea arabica* IN A LABORATORY

Hypothenemus hampei (Coleoptera: Curculionidae) poses a significant threat to coffee cultivation worldwide. In Colombia, this pest inflicts substantial damage to coffee crops, resulting in recurring economic losses for coffee growers. This study is dedicated to investigating the biological and reproductive characteristics of *H. hampei*, with a particular focus on its partial fertility life table, within controlled laboratory conditions. The research spans three constant temperatures—20°C, 25°C, and 30±1°C—using *Coffea arabica* var. Tabi as the test subject. The coffee berry borer (CBB) completed its life cycle (egg-adult) within the temperature range of 20°C to 30°C. Notably, at a temperature of 25°C, the CBB exhibited the most favorable outcomes, with the highest values recorded for the net reproductive rate (19.5), intrinsic growth rate (0.08), and percentage of egg-adult survival (87%). These values significantly surpassed those observed at the other two temperature settings. Understanding the biological and reproductive behavior of the coffee berry borer across different coffee genotypes used by Colombian coffee growers can offer valuable insights for optimizing integrated pest management strategies.

Keywords: Coffee berry borer, demographic parameters, thermal conditions, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico I. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0473-9403>



La temperatura es el factor abiótico más importante que afecta la biología y reproducción de los insectos (Giraldo-Jaramillo, 2020). Los cambios climáticos pueden incidir en los ciclos de vida de los insectos, impactando la ecología de los mismos, puesto que las tasas de mortalidad y nacimiento de las poblaciones están determinadas por la interacción entre los diferentes factores abióticos y bióticos (Inward et al., 2012; Romo & Tylanakis, 2013). Las tablas de vida de fertilidad son un método apropiado para conocer la dinámica poblacional de un artrópodo, ya que estiman los parámetros relacionados con el crecimiento poblacional en una condición determinada (Gotelli, 2001).

La broca, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae), es considerada la plaga más importante en el cultivo del café a nivel mundial, por atacar directamente el grano y ocasionar pérdida de peso, depreciación del grano y problemas de calidad en taza, lo que reduce significativamente los ingresos de los productores (Benavides et al., 2013; Bustillo, 2007; Vega et al., 2003).

Se han desarrollado diferentes trabajos para determinar aspectos del ciclo de vida de *H. hampei* en condiciones de laboratorio, en diferentes materiales del género *Coffea* (Bergamin, 1943; Jaramillo et al., 2009; Giraldo-Jaramillo et al., 2018), en dieta artificial (Brun et al., 1993; Portilla, 1999; Portilla y Strett, 2006; Portilla et al., 2014; Giraldo-Jaramillo y Parra, 2018) y en el campo (Ruiz-Cárdenas y Baker, 2010), dando como resultado que el desarrollo y la sobrevivencia de este insecto dependen de la temperatura y la disponibilidad de alimento. De igual forma, autores como Romero y Cortina (2007), Jaramillo et al. (2009) y Ruiz-Cárdenas y Baker (2010), realizaron la estimación de parámetros poblacionales con el uso de tablas de vida.

Cuando se realiza la comparación del desempeño biológico y reproductivo de la broca del café, en la literatura se reportan diferencias en cuanto a susceptibilidad de diferentes materiales del género *Coffea* (LePelley, 1968; Matiello et al., 2002; Molina, 2020), es así como Romero & Cortina (2007) reportan bajo desempeño reproductivo en *Coffea liberica*, comparado con otros materiales de *Coffea arabica*, información corroborada por Giraldo-Jaramillo et al. (2021), confrontando parámetros biológicos y reproductivos de varios genotipos de *Coffea canephora*, *C. liberica* y *C. arabica* en laboratorio, bajo diferentes condiciones térmicas (datos sin publicar).

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé ha optado por la estrategia de utilización de la diversidad genética como eje central de los programas de mejoramiento de variedades de café, para la obtención de materiales con resistencia durable a la roya del cafeto (Flórez et al., 2021). En el año 2002, se entregó la variedad Tabi, la cual es recomendada en regiones con sistemas producción tradicional que emplea variedades de porte alto (Moreno, 2002); esta variedad presenta excelente desempeño agronómico y calidad en la taza, llegando a clasificarse como “café especial”.

El presente estudio buscó determinar el desempeño biológico y reproductivo de *H. hampei* en *Coffea arabica* var. Tabi a tres temperaturas constantes, con la construcción de la tabla de vida de fertilidad parcial de esta plaga, en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron insectos procedentes de la cría de broca del café, localizada en la Planta Piloto-Disciplina de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé (Manizales, Caldas). La cría se estableció sobre

café pergamino variedad Tabi, con 65% de humedad del grano, manteniéndose en un cuarto climatizado a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $65\% \pm 10\%$ HR y 24 de escotofase.

Biología de *H. hampei* en diferentes temperaturas

Los parámetros biológicos de *H. hampei* se evaluaron en las temperaturas constantes de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y $30 \pm 1^\circ\text{C}$; en placas de cultivo de 24 pozos (Techno Plastic Products® referencia 920024), con dieta artificial Cenibroca modificada (Giraldo-Jaramillo y Parra, 2018), fabricada con *Coffea arabica* var. Tabi; el uso de esta técnica permitió determinar en qué fase de desarrollo se encontraban los insectos. El secado de las dietas se realizó en una estufa a 47°C , hasta alcanzar una humedad entre el 50%-55%, en cada pozo se dispusieron de 3,0 a 4,0 mL de dieta y se depositó un huevo obtenido de la cría, de 24 horas de edad; posteriormente, se realizó la evaluación diaria hasta alcanzar la fase adulta. Por cada temperatura se tuvieron 150 huevos, a los cuales se les registró el estado de desarrollo y sobrevivencia, y al alcanzar la fase adulta se determinó la proporción sexual, de acuerdo a la Ecuación <1>, donde ♀ es número de hembras y ♂ número de machos:

$$(ps = \frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}) <1>$$

Para los parámetros biológicos de duración de los estados biológicos de CBB se estimaron los intervalos de confianza a nivel del 95% y el valor medio de sobrevivencia con su error de estimación.

Tabla de vida de la fertilidad parcial de *H. hampei* en diferentes temperaturas

Para construir la tabla de vida de fertilidad parcial, se infestaron 70 granos de café pergamino con 65% de humedad, por

temperatura a ser evaluada ($20, 25$ y $30 \pm 1^\circ\text{C}$), cada grano fue individualizado en viales de borosilicato con tapa de plástico, y se infestó con una hembra de broca de 35 días de edad, procedente de la cría, los viales fueron acondicionados en cámaras climatizadas, de acuerdo a las temperaturas de trabajo antes mencionadas, después de 28 días de infestados para las temperaturas de 25°C y 30°C , y para 20°C al día 56 después de la infestación (DDI). De acuerdo a información previa reportada por Giraldo-Jaramillo (2016), se disecaron al azar 50 granos/temperatura para determinar el número de estados inmaduros de broca y la sobrevivencia de la hembra fundadora. Con el número total de estados (sumatoria: huevos+larvas+pupas+adultos jóvenes), para cada temperatura, se estimó el promedio con su respectivo intervalo de confianza al 95% y al final de cada temperatura se determinó el porcentaje total de hembras fundadoras vivas, con su error de estimación.

Para confeccionar la tabla de fertilidad parcial por cada temperatura, se utilizó la información obtenida de *H. hampei*: duración de desarrollo huevo-adulto, sobrevivencia de estados inmaduros, razón sexual, supervivencia de hembras y número de huevos por hembra. Los datos obtenidos para el número de hembras vivas cada día a cada edad (x) y el número de huevos depositados cada día se utilizaron para calcular la base de parámetros poblacionales, de acuerdo a la metodología propuesta por Maia et al. (2000): fecundidad bruta (Mx), supervivencia (lx), fecundidad (mx), función de fecundidad neta (lx.mx), tasa de reproducción neta (R_0) (Ecuación <2>) tasa de crecimiento intrínseca (rm) (Ecuación <3>) y tiempo generacional (T) (Ecuación <4>). La técnica Bootstrap se utilizó para calcular la varianza de los parámetros estimados, según Meyer et al. (1986) utilizando el programa estadístico R core-team 3.6.1 (2020).

$$Ro = \sum l_x \cdot m_x \quad <2>$$

$$r_m = \frac{\ln(Ro)}{T} \quad <3>$$

$$T = \frac{\ln(Ro)}{r_m} \quad <4>$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biología de *Hypothenemus hampei* en diferentes temperaturas

La temperatura influyó en la duración del ciclo de vida de la broca del café, con diferencias estadísticas en el número promedio de días necesarios para completar el ciclo de vida en las tres temperaturas evaluadas (Tabla 1). La temperatura de 30°C fue donde el insecto tuvo el ciclo de vida más corto comparado con las temperaturas de 20°C y 25°C, concordantes con los trabajos de diferentes autores, a temperaturas entre 25°C a 30°C (Giraldo-Jaramillo et al., 2018; Portilla et al., 2014; Jaramillo et al., 2009; Costa & Villacorta, 1989).

Para la razón proporción sexual en las temperaturas evaluadas (Tabla 1) no hubo diferencias entre las temperaturas. Con relación

a estudios de Portilla et al. (2014) y Jaramillo et al. (2009), los valores de proporción sexual encontrados son similares a los reportados previamente, con una proporción sexual entre 0,82–0,87.

La sobrevivencia total de huevo hasta adulto presentó diferencias entre las temperaturas (Figura 1), con mayor mortalidad a 30°C, 53% mayor comparada con las otras temperaturas que estuvieron entre 81% y 87%; Jaramillo et al. (2009), con una población procedente de África, relata sobrevivencias de huevo-adulto para esta temperatura del 60%. De acuerdo con Giraldo-Jaramillo et al. (2018), la sobrevivencia de este insecto disminuye a partir de 28°C, hasta encontrar que a 35°C se presenta mortalidad del 100% a nivel de larva. Información concordante con el cultivo del café, ya que se considera que temperaturas superiores de 30°C son no aptas para la producción (Nunes et al., 1968; Jaramillo & Guzmán, 1984; Pereira et al., 2008).

El número promedio de estados de vida de *H. hampei*, entendido como la sumatoria de estados biológicos (huevo+larva+pupa) por hembra, fue de 14,3 para 30°C, 27,1 para 25°C y 21,1 para 20°C. La temperatura de

Tabla 1. Duración media en días, del ciclo total (huevo-adulto) (\pm IC 95%), y proporción sexual a 20°C, 25°C y 30 \pm 1°C de *Hypothenemus hampei*, en dieta artificial modificada. HR: 65 \pm 10% y escotofase: 24 horas.

Temperatura °C	n	Parámetro			
		Duración		Proporción sexual*	
		Media (IC 95%)		Media (IC 95%)	
20	150	54,0	(52,2-55,8)	0,82	0,81-0,83
25	150	31,3	(30,3-32,3)	0,82	0,80-0,84
30	150	26,5	(27,3-25,7)	0,82	0,81-0,83

* Proporción sexual = $\frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$ es número de hembras y $\frac{\text{♂}}{\text{♀} + \text{♂}}$ número de machos (rs = $\frac{\text{♀}}{\text{♀} + \text{♂}}$).

25°C fue la que presentó el mayor número de individuos (Figura 2). Para las temperaturas de 25°C y 30°C las evaluaciones finalizaron en el día 28 después de infestados (DDI) ante la presencia de hembras de la F₁, y para la temperatura de 20 °C, al día 56 DDI.

Las hembras fundadoras continuaban vivas en su mayoría, para cada una de las temperaturas evaluadas, se obtuvieron los siguientes resultados: a 20°C el 89±0,02% (Prom±DS), a 25 °C el 88±0,02%) y a 30°C

69±0,05%, cabe resaltar que la evaluación se dio por finalizada cuando se detectó presencia de hembras procedentes de la F₁.

Los valores de estados biológicos acumulados encontrados difieren con los resultados de Jaramillo et al. (2009), quienes reportan valores netos entre 201,5±19,4 a 64,3±8,4 huevos/hembra, en temperaturas entre 25°C y 30°C, respectivamente. Es posible que estos valores correspondan a toda la capacidad reproductiva del insecto

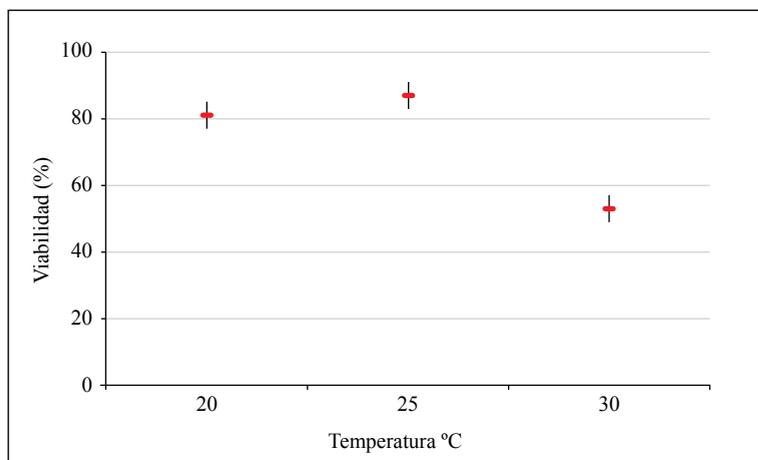


Figura 1. Promedio de sobrevivencia total (huevo-adulto) e intervalos de confianza al 95% de *Hypothenemus hampei* en tres temperaturas constantes, en dieta artificial. HR: 65±10% y escotofase: 24 horas.

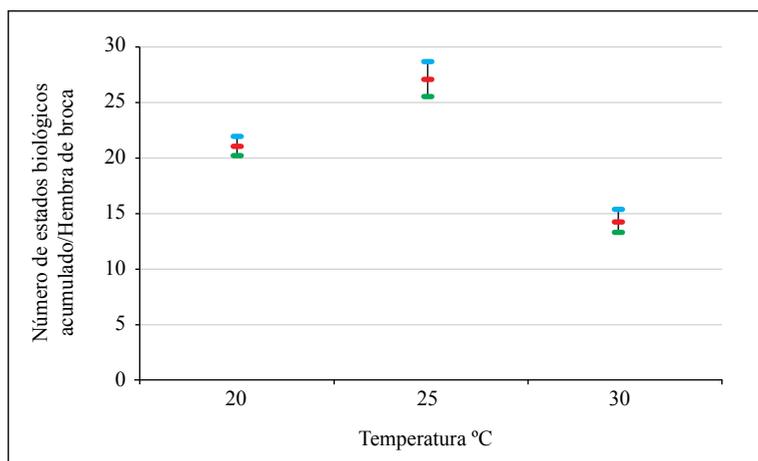


Figura 2. Promedio de estados biológicos acumulados e intervalos de confianza al 95% por hembra de *Hypothenemus hampei*, en granos de café pergamino var. Tabi. HR: 65±10% y escotofase: 24 horas.

durante la duración total del adulto, para cada condición térmica evaluada. Otros autores como Romero y Cortina (2004) en granos de café pergamino var. Caturra, registraron una media de 42 huevos/hembra después de 24 días de infestación, en una temperatura de 27°C. Bergamin (1943) encontró un promedio de 41,3 huevos/hembra a 27°C, y Portilla (1999) reporta valores de fecundidad a los 40 días en café pergamino de 26,9 huevos/hembra a 27°C, 27 días después de infestación. Ninguno de estos autores reporta los valores de sobrevivencia observados para cada condición térmica. Es importante tener en cuenta, que la fecundidad puede estar relacionada con el tipo de genotipo de café empleado.

Tabla de vida de fertilidad parcial de *H. hampei* a diferentes temperaturas

Se calcularon diferentes parámetros de crecimiento poblacional para *H. hampei* a 20°C, 25°C y 30°C. La tasa neta de reproducción (R_0) presentó diferencias entre las temperaturas evaluadas, con los valores más altos a 25°C comparados con las otras dos temperaturas (Figura 3). Los valores de R_0 son el producto de la sobrevivencia de las

hembras y la fecundidad (Gotelli, 2008), siendo un indicador de cuáles son las temperaturas óptimas para el crecimiento poblacional. En este caso, hubo incremento poblacional en el rango de 20°C -25°C, siendo este rango de temperatura donde *C. arabica* se desarrolla de forma adecuada (Jaramillo, 2018), y según Giraldo-Jaramillo et al. (2018), la temperatura de 25°C es óptima para el desarrollo para *H. hampei*.

Los tiempos generacionales obtenidos en este trabajo presentan diferencias entre sí (Tabla 2). Existe una correlación inversa entre la temperatura y el tiempo generacional, similar a lo reportado por Portilla et al. (2014) en dieta artificial Cenibroca, con valores entre 37,97 y 47,66 días en temperaturas constantes de 29°C y 23°C, y Jaramillo et al. (2009) reportan valores entre 68 hasta 30,6 días en la franja de temperatura de 20°C a 30°C. Para Colombia, en condiciones de campo, Ruiz y Baker (2010) encontraron valores entre 54 y 50 días, entre una franja de temperatura media de 20,7°C a 21,6°C, y Romero y Cortina (2007) en condiciones de laboratorio con café pergamino var. Caturra, en temperatura constante de 27°C, reportaron un valor de tiempo generacional de 44,6 días.

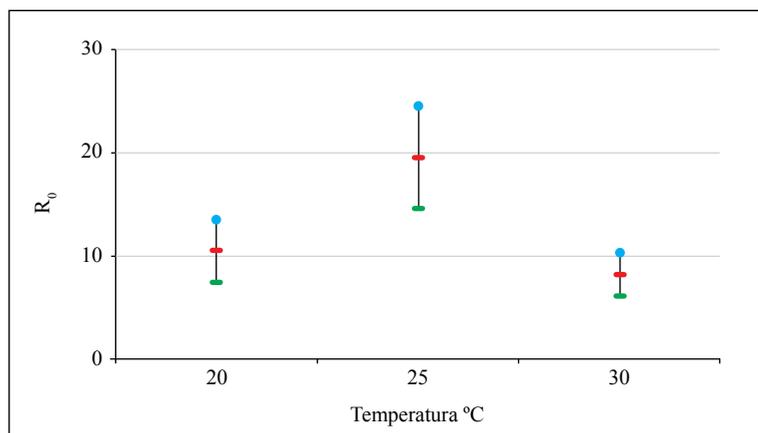


Figura 3. Promedio de la tasa neta de reproducción e intervalos de confianza al 95% de *Hypothenemus hampei*, en tres temperaturas constantes. HR: 65±10% y escotofase: 24 horas. N=50 hembras de *H. hampei*/temperatura.

Los valores de la razón infinitesimal de aumento (r_m) presentaron diferencias entre las temperaturas (Tabla 2); este parámetro depende del tiempo generacional, la sobrevivencia y la fecundidad (Birch, 1948; Gotelli, 2001). Todos los valores de r_m fueron mayores a 0, indicando que la población crece a cada generación en cada condición térmica. La temperatura de 25°C presentó el mejor desempeño, mostrando que esta puede determinarse como la temperatura óptima para que *H. hampei* desarrolle todo su potencial biológico.

Trabajos desarrollados con poblaciones en diferentes partes del mundo, muestran que poblaciones de Kenia en África obtuvieron valores de r_m entre 0,06 para 18°C, de 0,10 para las temperaturas de 23°C y 30°C y 0,14 para la temperatura de 25°C (Jaramillo et al., 2009), Giraldo-Jaramillo (2016) con población de São Paulo (Brasil) reporta valores de 0,06-0,07 para las temperaturas de 18°C -20°C y para la temperatura de 25°C reporta 0,09, siendo valores similares a los encontrados en este trabajo. Para Colombia,

trabajos desarrollados en el campo por Ruiz y Baker (2010), en temperaturas medias de 20,7°C a 21,6°C, reportan valores para r_m de 0,003 hasta 0,07. En condiciones de laboratorio este parámetro varía entre 0,06 a 0,07 en temperaturas de 25°C a 27 °C sobre café pergamino (Portilla, 1999; Portilla & Strett, 2006, Romero & Cortina, 2007), siendo similares a los reportados en este trabajo. Es importante recalcar que, dependiendo de la procedencia de las poblaciones de broca, pueden presentarse diferencias en los valores estimados, ya que puede existir una adaptación a la región de donde proceden.

Autores como Bale et al. (2002), sugieren que los efectos directos de la temperatura son más importantes que los efectos de otros factores del componentes abiótico como concentración de CO₂, regimenes de lluvia, entre otros. Por lo tanto, determinar los límites de tolerancia térmica de los insectos es fundamental para poder predecir las épocas de ocurrencia y los momentos críticos donde se incrementan las poblaciones.

Tabla 2. Promedio (IC 95%) de los parámetros de crecimiento poblacional de *Hypothenemus hampei*, en tres temperaturas constantes, en café pergamino var. Tabi. HR: 65±10% y escotofase: 24 horas.

Temperatura °C	T	R _m
20	56 a (54,5-57,5)	0,06 b (0,02-0,1)
25	31,9 b (30,9-32,9)	0,08 a (0,01-0,15)
30	29 c (28,5-29,5)	0,06 b (0,02-0,1)

T= tiempo de una generación; R_m= tasa infinitesimal de aumento. Promedios seguidos por las mismas letras en la columna no difieren significativamente (IC 95%). Parámetros comparados por análisis Bootstrap (10.000 repeticiones). N=50 hembras de *H. hampei*/temperatura.

El valor de las tablas de vida de fertilidad permite conocer los potenciales de crecimientos poblacionales, en diferentes condiciones térmicas, que ayudarían a comprender la dinámica de esta plaga para la decisiones de monitoreo y control; por ejemplo, cuando se presentan escenarios de incrementos térmicos en Colombia como eventos climáticos El Niño, y además, para hacer más eficientes las metodologías de cría en el laboratorio.

En Colombia, los cultivos de café se encuentran localizados entre 17°C a 24°C de temperatura media anual (Jaramillo, 2018). De acuerdo a trabajos desarrollados por Giraldo-Jaramillo et al. (2018), se presentan condiciones favorables para su desarrollo e incrementos poblaciones de *H. hampei* en las diferentes regiones del país, ya que la franja de temperaturas evaluadas entre 20°C a 30°C presentó desarrollo y reproducción por parte de la plaga, presentando su mejor desempeño biológico y reproductivo en la franja de temperaturas de 20°C a 25°C, información corroborada en este trabajo con las temperaturas evaluadas.

Puede concluirse que conocer el desempeño biológico y reproductivo de broca, con los diferentes materiales de café utilizados en Colombia, puede ayudar a ajustar estrategias de manejo integrado de esta plaga.

AGRADECIMIENTOS

A la señora Diana Soraya Rodríguez por la colaboración en la toma de información, al señor Antonio Montoya por la ayuda en los diferentes procesos de cría de broca del café, a la señora Gloria Patricia Naranjo en la fabricación de las dietas artificiales y al señor José Farid López por el suministro del material de café Tabi. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número ENT101013.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

El autor ha leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symmioudis, I., Watt, A. D., & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Benavides Machado, P., Gil-Palacio, Z., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo-Jaramillo, M. (2013). Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y monalonia. 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). Cenicafe. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_24
- Bergamin, J. (1943). Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, 14, 31–72.
- Birch, L. C. (1948) The Intrinsic Rate of Natural Increase of an Insect Population. *The Journal of Animal Ecology*, 17(1), 15–26. <https://doi.org/10.2307/1605>
- Brun, L. O., Gaudichon, V., & Wigley, P. J. (1993). An artificial diet for continuous rearing of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 14(5–6), 585–587. <https://doi.org/10.1017/S1742758400017963>
- Bustillo, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia.

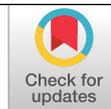
- Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <http://hdl.handle.net/10778/579>
- Costa, T., & Villacorta, A. (1989). Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. *Annais da Sociedade Entomologica Brasileira*, 18, 90–97.
- Flórez, C. P., Quiroga-Cardona, J., & Arias, J. C. (2021). Variedades del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 11–29). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_1
- Giraldo-Jaramillo, M. (2016). *Zoneamento de Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) e *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), pragas do caféiro no Brasil e na Colômbia, com base nas exigências térmicas [Tesis de Doctorado]. Universidade Estadual Paulista. <http://doi.org/10.11606/T.11.2016.tde-30112016-173124>
- Giraldo-Jaramillo, M., & Parra, J. R. (2018). Artificial diet adjustments for Brazilian strain of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae). *Coffee Science*, 13(1), 132–135. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1404>
- Giraldo-Jaramillo, M., García, A., & Parra, J. R. (2018). Biology, thermal requirements, and estimation of the number of generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the State of São Paulo, Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 111(5), 2192–2200. <https://doi.org/10.1093/jee/toy162>
- Jaramillo, A. (2018). *El Clima de la Caficultura en Colombia*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/libroClima.pdf>
- Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F. E., Poehling, H.-M., & Borgemeister, C. (2009). Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *PLoS ONE*, 4(8), e6487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006487>
- Inward, D. J. G., Wainhouse, D., & Peace, A. (2012). The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hylobius abietis* and the potential impacts of climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(4), 348–357. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00575.x>
- Le Pelley, R. H. (1968). *Pests of Coffee*. Longmans; Green & Co Ltd.
- Maia, A. de H., Luiz, A. J., & Campanhola, C. (2000). Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: Computational aspects. *Journal of Economic Entomology*, 93(2), 511–518. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.511>
- Matiello, J.H., Santinato, R., Garcia, A.W. (2002). *Cultura de café no Brasil – novo manual de recomendações*. Fundação Procafé.
- Meyer, J. S., Ingersoll, C. G., McDonald, L. L., & Boyce, M. S. (1986). Estimating Uncertainty in Population Growth Rates: Jackknife vs. Bootstrap Techniques. *Ecology*, 67(5), 1156–1166. <https://doi.org/10.2307/1938671>
- Portilla R., M. (1999). Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría masiva de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Cenicafé*, 50(1), 24–38. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4166>
- Molina, D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología*, 48(2), e11172. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11172>
- Moreno, G. (2002) Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del caféto. *Revista Cenicafé*, 53(2), 132–143. <http://hdl.handle.net/10778/1021>
- Portilla, M., & Streett, D. A. (2006). Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. *Revista Cenicafé*, 57(1), 37–50. <http://hdl.handle.net/10778/146>
- Portilla, M., Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., & Blanco, C. A. (2014). Life Tables as Tools of Evaluation and Quality Control for Arthropod Mass Production. En J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas, & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.), *Mass Production of Beneficial Organisms* (pp. 241–275). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391453-8.00008-X>
- R Software Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (3.6.1.) [Computer software]. <https://www.r-project.org>
- Romo, C. M., & Tylianakis, J. M. (2013). Elevated Temperature and Drought Interact to Reduce Parasitoid Effectiveness in Suppressing Hosts. *PLoS ONE*, 8(3), e58136. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058136>

- Ruiz-Cárdenas, R., & Baker, P. (2010). Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. *Scientia Agricola*, 67(6), 658–668. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600007>
- Romero, J. V., & Cortina-G, H. A. (2007). Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista Colombiana de Entomología*, 33(1), 10–16. <https://doi.org/10.25100/socolen.v33i1.9308>
- Vega, F. E., Rosenquist, E., & Collins, W. (2003). Global project needed to tackle coffee crisis. *Nature*, 425(6956), Article 6956. <https://doi.org/10.1038/425343a>

CHISAS (COLEOPTERA:MELOLONTHIDAE) ASOCIADAS AL CULTIVO DEL CAFÉ *Coffea arabica* EN COLOMBIA Y CARACTERIZACIÓN DE DAÑOS

Luis Miguel Constantino *, Zulma Nancy Gil *, Juan Guillermo Orrego **, Cristian J. Zamorano **, Pablo Benavides Machado ***, Carlos Roberto Ariza ****, Carlos Mario Ospina *****, Jhon Felix Trejos *****,
Hernán Darío Menza *****

Constantino, L. M., Gil-Palacio, Z., Orrego, J. G., Zamorano, C. J., Benavides Machado, P., Ariza, C. R., Ospina-Penagos, C. M., Trejos Pinzón, J. F., & Menza, H. D. (2023). Chisas (Coleoptera:Melolonthidae) asociadas al cultivo de *Coffea arabica* en Colombia y caracterización de daños. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74202. <https://doi.org/10.38141/10778/74202>



Las chisas (Coleoptera: Melolonthidae) son un grupo diverso de escarabajos de hábitos rizófagos, fitófagos y saprófagos en la zona cafetera de Colombia, con 144 especies registradas y 44 asociadas a *Coffea arabica*. Estos insectos eventualmente representan un riesgo durante el establecimiento del cultivo, al trozar las raicillas en plántulas menores a seis meses. Con el objetivo de identificar las especies y caracterizar los daños, se realizaron muestreos de larvas en el suelo y, mensualmente durante un año, se realizaron capturas de adultos en trampas de luz en Santander, Antioquia, Caldas y Cauca. Igualmente, se realizaron bioensayos de herbivoría con larvas y adultos en plántulas de café. Los muestreos con trampas de luz reunieron un total de 14.944 adultos y 44 especies, con una diversidad y abundancia, respectivamente, de 34 especies y 2.411 individuos en Antioquia, 29 y 1.889 en Caldas, 25 y 10.003 en Cauca y 19 y 641 en Santander. Las larvas de *Phyllophaga sericata*, *P. obsoleta*, *P. menetriesi* y *Cyclocephala fulgurata* se alimentaron en mayor medida de raíces de café con promedios de 33,6%; 51,6% y 64,8%, con una, tres y cinco larvas, respectivamente. Los adultos de *Plectris pavidata*, *Astaena valida*, *Anomala cincta*, *Symmela* sp., y *Pelidnota prasina* mastican las hojas y consumen hasta 60% del follaje de café. La mayor captura de chisas coincidió con el inicio de las lluvias durante marzo-abril y septiembre-octubre, momento a partir del cual podrían generarse alertas tempranas para adoptar medidas de manejo preventivas durante el establecimiento del cultivo de café.

Palabras clave: Coleoptera, Melolonthidae, Mojoy, daño, *Coffea arabica*, café, Colombia, Cenicafé.

WHITE GRUBS (COLEOPTERA: MELOLONTHIDAE) ASSOCIATED WITH THE CULTIVATION OF *Coffea arabica* COFFEE IN COLOMBIA AND CHARACTERIZATION OF DAMAGES

White grubs (Coleoptera: Melolonthidae) are a diverse group of beetles with rhizophagous, phytophagous, and saprophagous habits in the Colombian coffee zone, with 144 registered species and 44 associated with the *Coffea arabica*. These insects eventually represent a risk during the establishment of a coffee crop, by cutting off the rootlets in seedlings less than six months old. In order to identify the species and characterize the damage, larvae were sampled in the soil and the adults were captured monthly for a year, using light traps, in Santander, Antioquia, Caldas, and Cauca. Likewise, herbivory bioassays were carried out with larvae and adults in coffee seedlings. The sampling with light traps gathered a total of 14,944 adults and 44 species, with a diversity and abundance, respectively, of 34 species and 2,411 individuals in Antioquia, 29 and 1,889 in Caldas, 25 and 10,003 in Cauca, and 19 and 641 in Santander. Larvae of *Phyllophaga sericata*, *P. obsoleta*, *P. menetriesi*, and *Cyclocephala fulgurata* fed the greatest from coffee roots with averages of 33.6%; 51.6% and 64.8% with one, three, and five larvae respectively. Adults of *Plectris pavidata*, *Astaena valida*, *Anomala cincta*, *Symmela* sp., and *Pelidnota prasina* chew from leaves and consume up to 60% of the coffee foliage. The largest captures of white grubs coincided with the beginning of the rain seasons during March-April and September-October, a moment from which early warnings could be generated to adopt preventive management measures during the establishment of coffee crops.

Keywords: Coleoptera, Melolonthidae, White grubs, damage, *Coffea arabica*, coffee, Colombia, Cenicafé.

* Investigador Científico II. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8117-5803>, <https://orcid.org/0000-0001-7013-1231>, respectivamente.

** Pasante Biología, Universidad de Caldas. <https://orcid.org/0000-0001-5370-9679>, <https://orcid.org/0009-0002-6509-387X>, respectivamente.

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

**** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>, <https://orcid.org/0000-0003-1166-2395>.

***** Ingeniero Forestal M.Sc.



El café *Coffea arabica* (Rubiaceae) es el principal cultivo de exportación en Colombia con una producción promedio de alrededor de 14 millones de sacos. En la actualidad hay sembradas 844.744 hectáreas por 546.382 familias cafeteras, en 23 departamentos, de los cuales el 90% son pequeños y medianos productores de café (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia -FNC, 2020). En el país, los cafetales se desarrollan en un rango altitudinal de 1.000 a 2.000 m, la temperatura promedio es de 20°C y la precipitación puede oscilar entre 1.440 a 2.711mm año⁻¹; sin embargo, el ataque de insectos plaga es uno de los factores adversos que debe enfrentar la producción.

Entre los insectos que dañan el sistema radicular del café está el complejo de chisas, mojoyoy o gallina ciega, considerada una plaga persistente, que afecta principalmente las raíces durante el establecimiento de plantaciones de menos de seis meses, en aquellos lotes donde antes hubo cultivos de yuca, maíz y pastos, los cuales contienen altas densidades de chisas en el suelo (Bustillo 2008, Constantino et al., 2013).

Los adultos son de hábito nocturno y presentan la mayor actividad de vuelo entre las 19:00 y 22:00 horas, momento que emergen del suelo para copular o alimentarse; posterior a la cópula las hembras depositan en el suelo los huevos, de forma individual; al nacer las larvas, estas se entierran a profundidades de hasta 40 cm, donde permanecen alimentándose de las raíces de las plantas durante seis meses hasta un año, dependiendo de la especie (Montoya et al., 1994; Vásquez y Sánchez, 1996; Díaz-Mederos et al., 2006; Pardo-Locarno et al., 2007; Londoño, 2008). Las larvas de estos escarabajos pertenecen al orden Coleoptera de la familia Melolonthidae (Leach, 1819; Pardo-Locarno et al., 2003). En Colombia se han registrado cerca de 579 especies de esta familia,

de las cuales cerca de 225 especies pueden ser consideradas plagas agrícolas (Morón, 1986; King, 1994; Prieto y Montoya, 1994; Pardo-Locarno, 2000; Vallejo, 2000; Pardo-Locarno et al., 2005; López, García y Amat, 2013). No obstante, la mayoría de especies desempeñan importantes funciones ecológicas en los ecosistemas agrícolas y forestales, debido a su papel en la polinización de plantas, en la degradación y en el ciclo de nutrientes del suelo al actuar como descomponedores de la madera muerta y la materia orgánica (Pardo-Locarno et al., 2003).

Quizás uno de los problemas más notables de las especies de chisas dañinas en el cultivo de café en Colombia, es el desconocimiento de su biología, así como la falta de información sobre las especies dañinas, la caracterización de los daños y la dinámica poblacional en los diferentes agroecosistemas del país (Pardo-Locarno et al., 2003; Bustillo, 2008). Por lo tanto, los objetivos del presente estudio fueron identificar las especies de chisas asociadas al cultivo de café en diferentes zonas de la región Andina del país, abarcando las tres cordilleras, para conocer su fluctuación poblacional a través del tiempo y evaluar el daño que ocasionan las larvas y los adultos, tanto en el sistema radicular como en el follaje de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Monitoreo de las épocas de vuelo de adultos en cuatro departamentos

Para determinar las épocas de vuelo de los adultos, se seleccionaron lotes de café *Coffea arabica* de cuatro años de edad, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé (Tabla 1), ubicadas en un rango altitudinal entre 1.381 y 1.820 m. Los adultos de escarabajos Melolonthidae se recolectaron con trampas de luz fluorescente negra Led de 25 w, con conexión eléctrica de 110 v.; una trampa por

localidad. Estas trampas contenían un embudo que conducía a un recipiente recolector provisto de una solución con agua y detergente a una concentración de 1% para romper la tensión superficial del agua para asegurar que los individuos no se escaparan; las trampas se colocaron a una altura de 2,0 metros del suelo, en medio de un cultivo de café, entre las 18:00 horas y las 06:00 horas del día siguiente, una vez por semana, por un período continuo de un año. Los adultos capturados en las trampas se recogieron y se lavaron con agua estéril y luego se preservaron en seco, en papel toalla, en recipientes plásticos con tapa, debidamente rotulados con los datos de fecha y localidad de recolección. Las muestras se mantuvieron refrigeradas para su preservación antes de ser transportadas al laboratorio de Entomología de Cenicafé para su posterior montaje, etiquetado e identificación.

Muestreo de larvas por tipo de sustrato edáfico

En los mismos lotes de café donde se colocaron las trampas de luz negra (Tabla 1), se recolectaron larvas del suelo de escarabajos Melolonthidae. Por medio de

un muestreo aleatorio en 30 sitios, cubriendo la totalidad de una parcela de una hectárea, se realizaron muestreos de larvas en lotes donde se estaban realizando ahoyados para la siembra de café y en lotes con plantas de café establecidas. Para esto, se cavaron hoyos de 30 cm de profundidad y 40 cm² de área, donde se recolectaron manualmente las chisas. Por cada sustrato edáfico se tuvo el mismo número de repeticiones de muestreo, con las siguientes características: suelo limpio en el plato del árbol, suelo con cobertura de gramíneas en las calles del cultivo, suelo cubierto con materia orgánica (pulpa de café) y suelo con mulch producto del corte de arvenses con guadaña. Cada chisa fue individualizada en vasos plásticos de tres onzas y con suelo, para evitar la mutilación entre los individuos. Cada recipiente fue etiquetado con fecha, número de individuo recolectado, localidad, estadio de desarrollo y tipo de sustrato edáfico donde se halló, luego fueron transportadas al laboratorio de Entomología de Cenicafé, en un cuarto de cría, a una temperatura de 24°C y 80% de HR, y un fotoperíodo de luz/oscuridad de 12/12 horas. Como alimento, a las larvas se les agregó un trozo de zanahoria, que

Tabla 1. Muestreo de chisas asociadas al cultivo de café en cuatro Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé, abarcando las tres cordilleras del país.

Localidad	Municipio	Departamento	Cordillera	Altitud (m)
EE Naranjal	Chinchiná	Caldas	Central	1.381
EE El Rosario	Venecia	Antioquia	Occidental	1.635
EE San Antonio	Floridablanca	Santander	Oriental	1.480
EE El Tambo	El Tambo	Cauca	Occidental	1.735

se cambió cada tres días, manteniendo el suelo húmedo con un atomizador con agua, para evitar la deshidratación y muerte de las larvas, hasta obtener los adultos para determinar las especies.

Evaluación de daño causado por larvas en las raíces de café

Para evaluar el daño en raíces, se tuvieron plántulas de café individualizadas, de seis meses de edad, en bolsas plásticas negras, en un invernadero en el sector de la Granja en Cenicafé (Manizales, Caldas). En cada bolsa se colocó un número determinado de chisas (una, tres, cinco) de cada especie (unidad experimental). Por cada unidad experimental se tuvieron 15 repeticiones con su respectivo control (testigo absoluto). Para la infestación de las plántulas de café se utilizaron chisas de último estadio de desarrollo, obtenidas de la unidad de cría de Cenicafé, de cada una de las especies a evaluar (*Phyllophaga menetriesi* Blanchard, 1850, *P. sericata* Erichson, 1848, *P. obsoleta* Blanchard, 1851, *Anomala cincta* Say, 1835, *A. undulata* Melsheimer, 1845 y *Cyclocephala fulgurata* Burmeister, 1847) verificando las características del raster y la cápsula cefálica bajo un estereoscopio para poder diferenciarlas y separarlas. Una vez infestadas las unidades experimentales, las plántulas se mantuvieron durante un mes, bajo sombra en un invernadero a condiciones ambientales (26°C y 75% de HR), proporcionando riego con agua cada tres días. La variable de respuesta que se midió fue el peso seco total de la raíz. Las plantas fueron extraídas y lavadas para retirar todo el suelo presente, luego se le realizó un corte en la base del hipocótilo, donde solo quedó la raíz principal, raíces secundarias y pelos radiculares. Las raíces se llevaron a un horno envueltas en papel craft con sus respectivas etiquetas, a una temperatura aproximada de 70°C, durante ocho días, para asegurar que

se eliminaran por completo los fluidos y obtener muestras completamente deshidratadas. Una vez secas se tomó el peso seco total en gramos en balanza analítica.

Cría de larvas en el laboratorio para obtener adultos y enemigos naturales

Con el fin de identificar los adultos de las larvas de Melolonthidae recolectadas en el campo, así como sus enemigos naturales, se escogieron representantes de cada morfotipo (donde se tuvo en cuenta el tamaño, coloración, vellosoidad, número de segmentos, forma y tamaño de las patas, cápsula cefálica, mandíbulas, epifaringe, tipo de raster, número de espiráculos y escudo cefálico). Las larvas se individualizaron en vasos plásticos de tres onzas, debidamente rotulados con la fecha, localidad y número de muestra, para su posterior seguimiento, con suficiente suelo esterilizado en autoclave, y con compost. Los recipientes fueron almacenados en un cuarto de cría a una temperatura de 24°C y 80% de HR, y un fotoperíodo de 12/12 horas luz/oscuridad. Como alimento, a las larvas se les agregó un trozo de zanahoria, la cual se cambió cada tres días, manteniendo el suelo húmedo con un atomizador con agua, para evitar la deshidratación y muerte de las larvas, según la metodología propuesta por Pardo-Locarno & Montoya-Lerma (2007). Semanalmente, se hizo seguimiento a las larvas, hasta obtener los adultos y parasitoides para su identificación. El suelo y el alimento en los recipientes de cría se mantuvieron en completa asepsia para evitar problemas de contaminación con ácaros, hongos saprofitos y patógenos que pudieran afectar las larvas. La fijación de los morfotipos de larvas para la identificación a nivel de género, se realizó con una solución Pampel durante 48 h y la preservación definitiva en solución Hood, como recomiendan Bugelli et al. (2017). Para su identificación en el laboratorio se

utilizaron las claves taxonómicas de Morón (1995), Pardo-Locarno (2000), Rivera y Morón (2013), y López et al. (2013).

Evaluación de daño causado por los adultos en follaje de café

Para la evaluación del daño causado por adultos de la subfamilia Melolonthidae en las hojas de plantas de café, se escogieron las siguientes especies: *Symmela* sp. 1., *Symmela* sp. 2., *Anomala cincta*, *A. viridicollis*, *A. inconstans*, *Ancistrosoma rufipes*, *Plectris pavidata*, *Isonychus orcus*, *Astaena valida* y *Pelidnota prasina* que fueron recolectadas en el campo con trampas de luz. La unidad experimental estuvo conformada por un vaso plástico transparente de 16 onzas con tapa y una hoja de café tierna con un trozo de algodón húmedo en la base del peciolo, conteniendo un adulto de chisa. Por cada tratamiento (especie) se tuvieron diez repeticiones con igual número de testigos. Una vez infestadas las unidades experimentales, estas se mantuvieron en el laboratorio de Entomología de Cenicafé, a temperatura ambiente (26°C y 75% de HR), durante cinco días. Para determinar el porcentaje de área foliar consumida (variable de respuesta), se tomaron fotos a las hojas afectadas en un fondo blanco, con cuadrículas de 0,5 mm, aplanadas con dos vidrios transparentes para que quedaran totalmente planas y abiertas, estas imágenes fueron sometidas al software ImageJ (Java–National Institutes of Health, 2016) y a cada hoja se le registró el área (cm²), largo (cm), ancho (cm) y perímetro (cm). Se realizó la toma de datos para su posterior análisis.

Clasificación taxonómica

Todo el material recolectado y etiquetado fue depositado en el Museo Entomológico Marcial Benavides (MEMB) de Cenicafé (Tabla 3). Para la identificación de los adultos se

utilizaron las claves taxonómicas de Morón (1986), King (1995), Pardo-Locarno (2000), Vallejo et al. (2000), Ratcliffe (2003), Restrepo et al. (2003), Neita-Moreno (2011), López-García et al. (2015) y Vallejo y Wolff (2013). Adicionalmente, los especímenes montados fueron comparados por confrontación directa con material depositado en las colecciones de referencia del Museo Entomológico Marcial Benavides-MEMB de Cenicafé y del Laboratorio de Entomología de la Universidad de Caldas-LEUC, y posteriormente reconfirmadas por Luis Carlos Pardo-Locarno de la Universidad del Pacífico y Luis Fernando Vallejo de la Universidad de Caldas, especialistas en la familia Melolonthidae. Para la recolección de las muestras biológicas se contó con un permiso marco de recolección con fines de investigación científica no comercial (Resolución 01508 del 6 de septiembre de 2018 otorgado a Cenicafé por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales–ANLA) y los registros del material recolectado pueden consultarse en la página web del Sistema de Información en Biodiversidad-SIB en el siguiente enlace de acceso: <https://www.gbif.org/es/dataset/5fb6974e-55f0-43ce-b5e9-26e6cd1f4b12>.

Análisis estadísticos y de diversidad

Para el cálculo del porcentaje de daño en raíz y hojas se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) al 5%, comparando los datos de la estimación del promedio y del coeficiente de variación por tratamiento para cada especie; de igual forma, se compararon los tratamientos frente al testigo absoluto con una prueba de Dunnett, utilizando el programa SAS 2007, para realizar el análisis estadístico de los datos. Para el cálculo de los índices de diversidad se empleó el software estadístico Past Diversity versión 3.0 para Excel. Los índices de diversidad alpha que se seleccionaron fueron equitatividad,

dominancia de Simpson, diversidad de Simpson (1–dominancia) según las Ecuaciones <1>, <2> y <3>, debido a que son más sensibles a especies dominantes y su influencia en la diversidad. Las curvas de acumulación de especies se realizaron con los estimadores de eficiencia ACE.

$$\text{Equitatividad} = h/h_{\max} \quad <1>$$

Donde: h es diversidad de Shannon-Wiener, h_{\max} es $\ln(s)$ del número de especies.

$$\text{Dominancia Simpson} = s \sum (\pi_i)^2 \quad <2>$$

Donde s es número de especies; π_i es la proporción de los individuos por especie.

$$\text{Diversidad Simpson} = 1/c \quad <3>$$

Donde: c es el valor del índice de dominancia de Simpson; $I_{\text{Igualdad}} = e^{H/S}$; Fisher-Alpha y Chao-1.

RESULTADOS

Monitoreo de las épocas de vuelo de adultos

En las Figuras 1a a 1d se presentan las curvas de acumulación de especies capturadas con trampas de luz con base en el número de individuos y el número de especies estimadas y esperadas para cada localidad. Se puede apreciar que en la localidad de El Rosario en Antioquia, la asíntota en la curva de acumulación de especies se estabiliza de forma horizontal más rápida en comparación a las otras localidades, esto indica que el muestreo en El Rosario arrojó mayor diversidad de especies obtenidas en menor tiempo, esto debido a que las especies en esta localidad vuelan durante todo el año, en contraste con El Tambo (Cauca) donde la asíntota en la curva de acumulación de especies presenta una pendiente menor, por la estacionalidad marcada en las épocas de vuelo

de las especies, donde los adultos emergen en su mayoría en los meses de septiembre y octubre.

Los muestreos de adultos con trampas de luz negra en cultivos de café reunieron un total de 14.944 ejemplares y 44 especies (Figuras 2a-2e), con una diversidad y abundancia, respectivamente, de 34 especies y 2.411 individuos en Antioquia, 29 y 1.889 en Caldas, 25 y 10.003 en Cauca y 19 y 641 en Santander (Tablas 2 y 3, Anexo1). Los muestreos realizados en cada localidad mostraron mayor actividad de vuelo en los meses de marzo-abril y septiembre-octubre con la llegada de las lluvias. En los muestreos en la Estación Experimental El Rosario-Antioquia se observó que la mayor emergencia de chisas se presentó en la primera temporada de lluvias del año, mostrando la mayor riqueza (34 especies) y abundancia (2.411 ejemplares) en los meses de marzo y abril (Figura 2a). *Phyllophaga menetriesi* fue la especie más abundante durante el período de lluvias con 89 individuos. Por el contrario, las especies *Anomala cincta* y *Anomala undulata* fueron más abundantes durante los períodos secos de junio y julio, con 193 y 217, respectivamente.

En los muestreos en la Estación Naranjal (Caldas) se observó que la mayor emergencia de chisas se presentó en la primera temporada de lluvias del año, mostrando la mayor riqueza (29 spp.) y abundancia (1.889 ejemplares) en los meses de abril y mayo (Figura 2b). *Anomala cincta* fue la especie más abundante durante el período de lluvias (abril, mayo y la primera semana de junio, con 735 individuos), mientras que en el período seco de julio y agosto, los niveles de capturas fueron más bajos para la mayoría de especies. *Pelidnota prasina* fue una especie única en la localidad de Naranjal con 20 capturas durante la mayor parte del semestre.

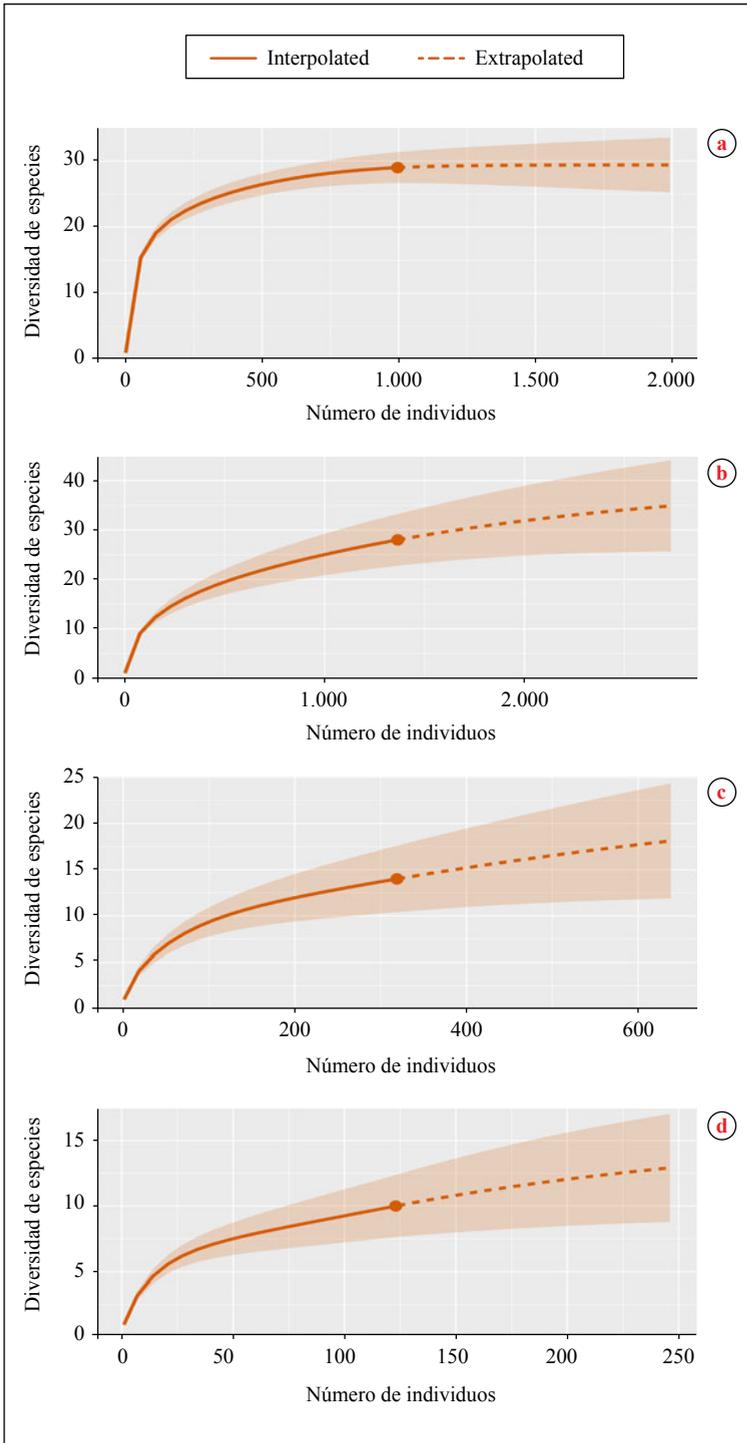


Figura 1. Curvas de acumulación de especies de chisas recolectadas en las Estaciones Experimentales **a.** El Rosario (Venecia, Antioquia), **b.** Naranjal (Chinchiná, Caldas), **c.** San Antonio (Floridablanca, Santander) y **d.** El Tambo (Cauca), calculadas con el estimador de eficiencia ACE.

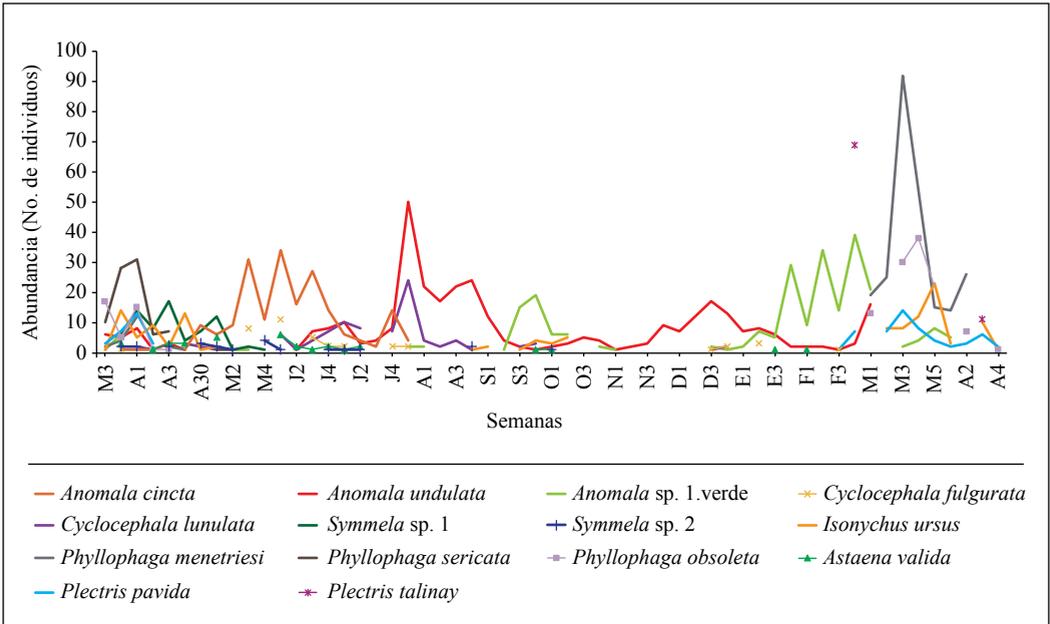


Figura 2a. Abundancia y distribución anual de chisas en la Estación Experimental El Rosario (Antioquia) entre marzo de 2019 y abril de 2020.

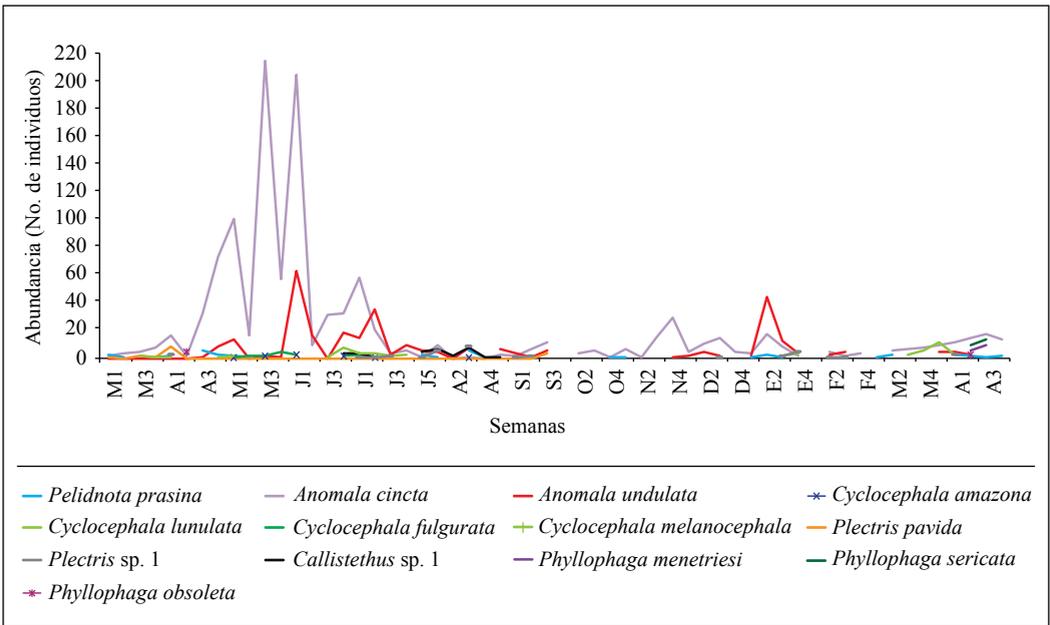


Figura 2b. Abundancia y distribución temporal de chisas en la Estación Experimental Naranjal (Caldas) entre marzo de 2019 y abril de 2020.

En los muestreos en la Estación San Antonio (Santander) se observó que la mayor emergencia de chisas se presentó en la primera temporada de lluvias del año, mostrando la mayor riqueza (19 spp.) y abundancia (641 ejemplares) en los meses de marzo y abril (Figura 2c). *Anomala* sp. ca. *viridicollis* fue la especie más común durante el primer semestre del año con 242 individuos, siendo más frecuente durante el período de abril y mayo. Por el contrario, las especies *Phyllophaga sericata*, *P. gigantea* y *P. menetriesi* fueron las menos abundantes con menos de ocho individuos y solo se observaron durante el primer semestre del año, en los meses de abril y mayo, durante el período de lluvias. De acuerdo con Pardo et al. (2003) las larvas de las especies de *Phyllophaga* son edafícolas, de hábitos rizófagos estrictos y los adultos son de ciclo anual.

En los muestreos en la Estación El Tambo (Cauca) se observa que el mayor número de capturas de especies y abundancia en esta localidad se presenta en los meses de septiembre y octubre con la llegada de las lluvias, con capturas de hasta 4.500 individuos en una semana, para el caso de *Plectris talinay*, seguida de *Cyclocephala fulgurata* con 1.000 individuos e *Isonychus* sp.3 con 900 individuos. En los meses secos se presentaron pocos vuelos de adultos (Figuras 2d y 2e).

En la Tabla 2 se presentan los resultados de diversidad Alpha y composición de especies estimados para cada localidad. Los índices de diversidad incorporan en un solo valor a la riqueza específica y la equitabilidad. En algunos casos, un valor dado de un índice de diversidad puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equitabilidad. Es decir,

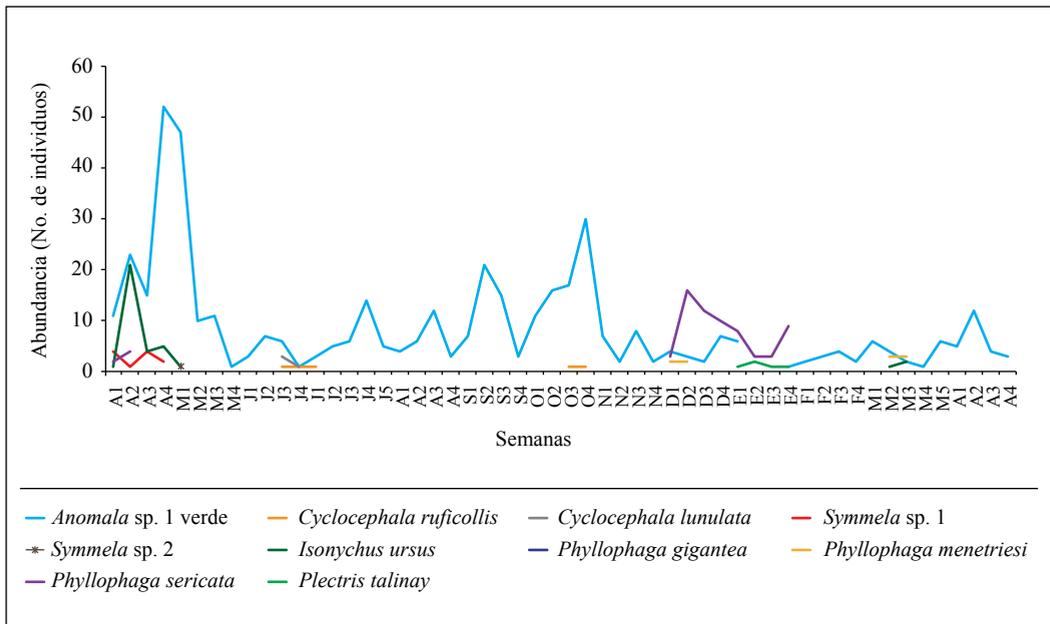


Figura 2c. Abundancia y distribución temporal de chisas en la Estación Experimental San Antonio (Santander) entre abril de 2019 y abril de 2020.

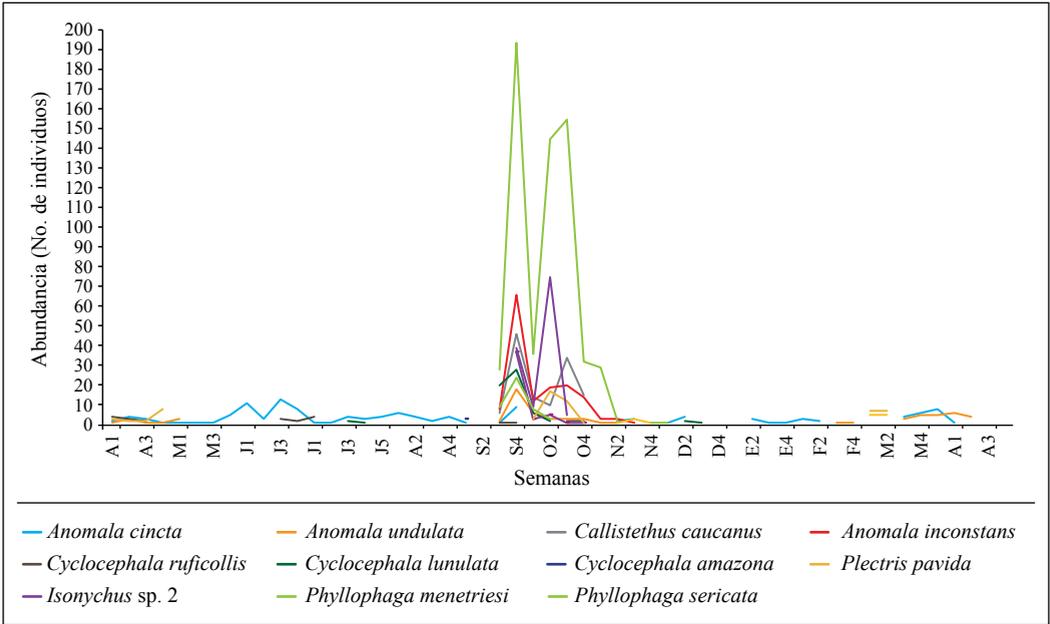


Figura 2d. Abundancia y distribución temporal de chichas en la Estación Experimental El Tambo (Cauca) entre abril de 2019 y abril de 2020.

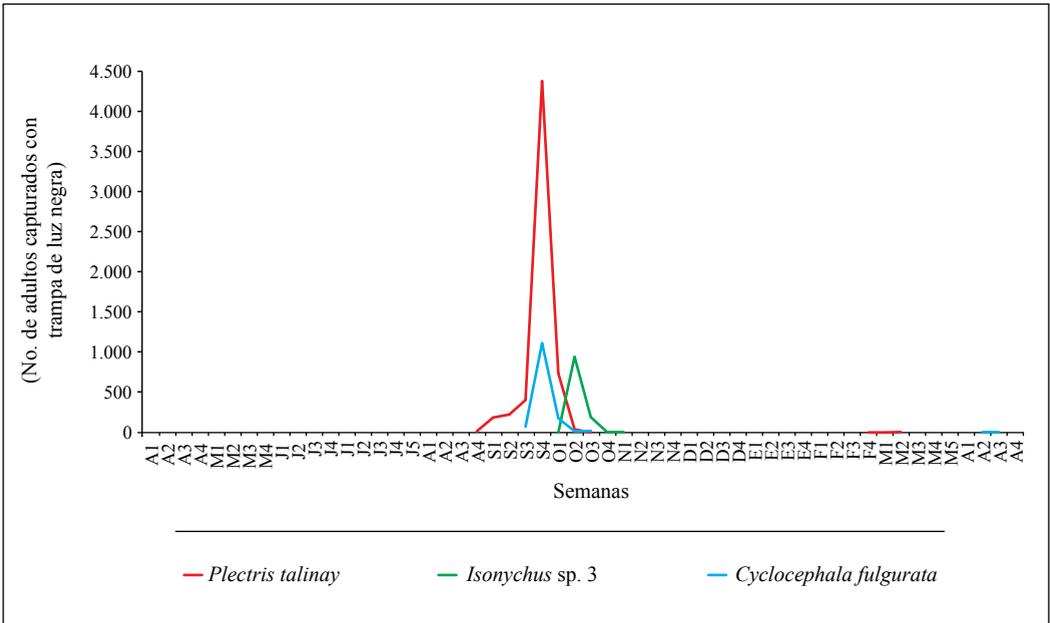


Figura 2e. Abundancia y distribución temporal de las especies de chichas más abundantes en la Estación Experimental El Tambo (Cauca) entre abril de 2019 y abril de 2020.

que el mismo índice de diversidad puede obtenerse de una comunidad con baja riqueza y alta equitabilidad, como de una comunidad con alta riqueza y baja equitabilidad. Esto significa que el valor del índice aislado no permite conocer la importancia relativa de sus componentes (riqueza y equitabilidad). El índice de diversidad de Simpson (DSi) muestra la probabilidad de encontrar dos individuos de especies diferentes en dos extracciones sucesivas al azar sin reposición. Este índice le da un peso mayor a las especies abundantes subestimando las especies raras, tomando valores entre '0' (baja diversidad) hasta un máximo de $[1-1/S]$. El índice de Shannon-Wiener (H') mide el contenido de información por individuo en muestras obtenidas al azar, provenientes de una comunidad extensa de la que se conoce el número total de especies S . También puede considerarse a la diversidad como una medida de la incertidumbre para predecir a qué especie pertenecerá un individuo elegido al azar de una muestra de S especies y N individuos. Por lo tanto, $H' = 0$ cuando la muestra contiene solo una especie, y H'

será máxima cuando todas las especies S estén representadas por el mismo número de individuos, es decir, que la comunidad tenga una distribución de abundancias equitativa (H' max). Sin embargo, este índice subestima la diversidad específica si la muestra es pequeña.

En los resultados puede apreciarse que la localidad de El Rosario presentó el índice de Shannon (H' max) con el valor más alto (2,74), esto debido a la mayor riqueza de especies (34) y alta representatividad (equitabilidad) en las muestras. En cuanto al índice de Simpson (1-D), la localidad de El Rosario presentó el valor más alto con un valor de 0,911, esto debido a que contiene mayor cantidad de especies abundantes repartidas entre varias especies, a diferencia de San Antonio donde domina una sola especie *Anomala viridicollis* todos los meses. Con respecto a los índices de Igualdad y Equitabilidad, las localidades de San Antonio y El Tambo presentaron los valores más bajos debido a la menor riqueza y la presencia de las mismas especies en ciertos meses con mayor precipitación de lluvias.

Tabla 2. Índices de diversidad Alpha de poblaciones de chisas de la raíz de café para cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé, en cuatro departamentos, entre abril de 2019 y abril de 2020.

Índices de Diversidad Alpha	Naranjal (Caldas)	San Antonio (Santander)	El Tambo (Cauca)	El Rosario (Antioquia)
Taxa_S (riqueza)	29	19	25	34
Número de individuos	1.889	641	10.003	2.411
Dominancia_D	0,42	0,53	0,37	0,08
Simpson_1-D	0,57	0,46	0,63	0,91
Shannon_H	1,44	1,23	1,51	2,74
Igualdad_e^H/S	0,14	0,19	0,18	0,45
Equitabilidad_J	0,43	0,42	0,47	0,78
Fisher_alpha	4,86	3,44	3,09	5,60
Chao-1	40	19,51	25	34,30

Tabla 3. Riqueza y abundancia de chisas (Coleoptera:Melolonthidae) asociadas a cultivos de café *Coffea arabica* en cuatro departamentos de Colombia.

Especies	Naranjal (Caldas)	San Antonio (Santander)	El Tambo (Cauca)	El Rosario (Antioquia)
<i>Pelidnota prasina</i>	59	2	0	3
<i>Anomala cincta</i>	1.177	0	137	309
<i>Anomala undulata</i>	326	0	79	438
<i>Callisthetus caucanus</i>	4	4	131	0
<i>Anomala viridicollis</i>	1	461	22	239
<i>Anomala pyropyga</i>	1	0	0	0
<i>Anomala inconstans</i>	0	0	151	4
<i>Cyclocephala melanocephala</i>	32	0	1	17
<i>Cyclocephala ruficollis</i>	2	9	30	36
<i>Cyclocephala fulgurata</i>	29	0	1.432	40
<i>Cyclocephala tutilina</i>	2	0	0	2
<i>Cyclocephala lunulata</i>	49	5	73	103
<i>Cyclocephala morphoidina</i>	1	0	4	3
<i>Cyclocephala amazona</i>	1	0	50	25
<i>Cyclocephala mafaffa</i>	1	0	0	1
<i>Plectris pavidata</i>	33	0	74	94
<i>Plectris talinay</i>	39	8	5.757	80
<i>Dyscinetus dubius</i>	1	0	0	9
<i>Xenocrates</i> sp. 1	0	5	0	0
<i>Callisthetus cupricollis</i>	2	0	0	0
<i>Callisthetus</i> sp. 1	37	0	0	14
<i>Leucothyreus femoratus</i>	2	7	41	77
<i>Ancognatha humeralis</i>	1	0	0	3

Continúa...

...continuación.

Especies	Naranjal (Caldas)	San Antonio (Santander)	El Tambo (Cauca)	El Rosario (Antioquia)
<i>Charioderma xyli</i>	1	0	0	57
<i>Hoplopyga miliaris</i>	1	0	0	0
<i>Amithao decemguttatus</i>	0	1	0	0
<i>Symmela</i> sp. 1	19	13	3	89
<i>Symmela</i> sp. 2	0	1	8	23
<i>Isonychus ursus</i>	0	40	4	142
<i>Isonychus</i> sp. 1	0	1	2	27
<i>Isonychus</i> sp. 2	0	0	128	0
<i>Isonychus</i> sp. 3	0	0	1.143	0
<i>Aspidolea singularis</i>	0	4	0	0
<i>Phyllophaga gigantea</i>	0	11	0	0
<i>Phyllophaga menetriesi</i>	20	13	646	267
<i>Phyllophaga sericata</i>	38	49	56	95
<i>Phyllophaga obsoleta</i>	8	0	8	150
<i>Phyllophaga brevisetosa</i>	0	0	0	9
<i>Lycomedes hirtipes</i>	0	0	0	2
<i>Astaena valida</i>	1	0	21	33
<i>Astaena</i> sp. 1	0	6	2	3
<i>Platycoelia cyanicollis</i>	1	0	0	11
<i>Cyclocephala</i> sp. nov.	0	0	0	1
<i>Cyclocephala gregaria</i>	0	0	0	5
<i>Ancistrosoma rufipes</i>	0	1	0	0
Abundancia	1.889	641	10.003	2.411
Riqueza	29	19	25	34

Muestreo de larvas por tipo de sustrato edáfico

Los resultados de abundancia de larvas por tipo de sustrato edáfico se presentan en la Figura 3. Los muestreos del promedio acumulado de chisas por tipo de sustrato muestran que los lotes con mayor contenido de materia orgánica (pulpa de café) y compost orgánico fueron los sitios con mayor cantidad de chisas edáficas, con un promedio de seis individuos, un máximo de 12 y un mínimo de uno por sitio. Generalmente, pueden encontrarse chisas de varias especies, sobresaliendo las de los géneros *Phyllophaga*, *Anomala* y *Cyclocephala*, seguido del sustrato de suelo con coberturas de gramíneas, con cuatro larvas en promedio por sitio. En los sitios muestreados que contenían mulch en las calles del lote, producto del plateo de arvenses y gramíneas con guadaña o machete, se encontraron en promedio tres larvas, con un máximo de cuatro y un mínimo de una, mientras que en el plato de los árboles de café plateados que no contenían materia orgánica fueron los que menos cantidad de larvas presentaron.

Evaluación de daño causado por las larvas en raíces de café

En las Figuras 4 a la 7 se presentan los resultados obtenidos para seis especies de chisas de hábitos rizófagos, utilizando plántulas de café en almácigos de seis meses de edad. El mayor consumo de raíces lo presenta *Phyllophaga sericata*, mostrando diferencias estadísticas significativas ($n = 15$; $F = 54,3$; $g.l. = 2$; $P < 0,0001$) en la disminución en peso seco de raíz del 33,6% con una larva, 51,6% con tres larvas y 65,1% con cinco larvas, en comparación con el testigo absoluto (Figura 4). Esto comprueba el hábito rizófago, con daño severo al sistema radicular del café en plantas en levante. Es decir, con cinco larvas se ocasiona el 65% de consumo y daño en las raíces secundarias del café (Figura 7). Por el contrario, la especie *Anomala cincta* no mostró diferencias estadísticas entre el testigo y el tratamiento ($n = 15$; $F = 44,5$; $g.l. = 2$; $P = 0,54$). Esto corrobora el hábito rizófago de esta especie generalista, de porte pequeño, la cual causa poco daño a las raíces. Un comportamiento similar mostró la especie *Phyllophaga obsoleta* con disminución en peso

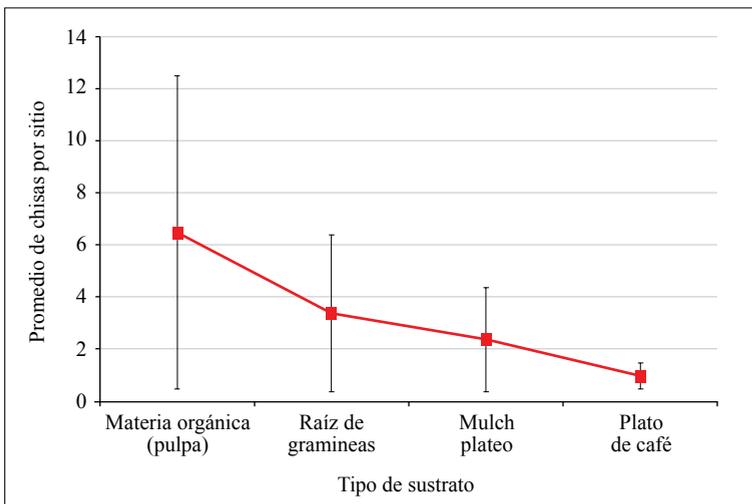


Figura 3. Promedio acumulado de larvas de chisas por sitio de acuerdo al tipo de sustrato edáfico.

seco de raíz del 31,4% con una larva, 49,1% con tres larvas y 64,5% con cinco larvas, en comparación con el testigo absoluto (Figura 5); es otra especie que causa daño severo a la raíz y se considera una especie de importancia económica. Por el contrario, *Anomala undulata* no mostró diferencias estadísticas entre el testigo y el tratamiento, por lo que no se considera que represente riesgo para el cultivo del café (n =

15; F =57,5; g.l.= 2; P = 0,64). En cuanto a *P. menetriesi* y *Cyclocephala fulgurata*, ambas especies mostraron diferencias estadísticas significativas en el consumo de raíz de café (n = 15; F =52,3; g.l.= 2; P < 0,0001) con una disminución del peso seco de raíz del 32,5% y 25,3% con una larva, del 52,3% y 44,2% con tres larvas y de 62,2% y 50,3% con cinco larvas, respectivamente (Figura 6).

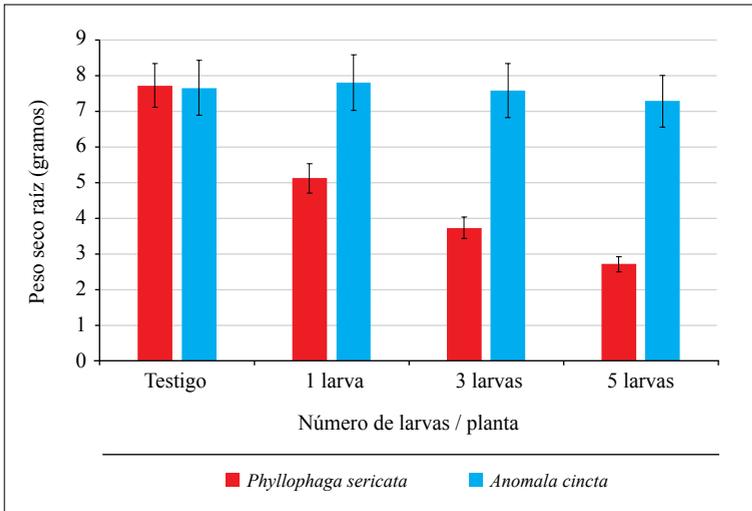


Figura 4. Consumo promedio de raíz (peso seco en gramos) y error estándar en plántulas de café, utilizando una, tres y cinco larvas de *Phyllophaga sericata* y *Anomala cincta* por planta, en comparación al testigo.

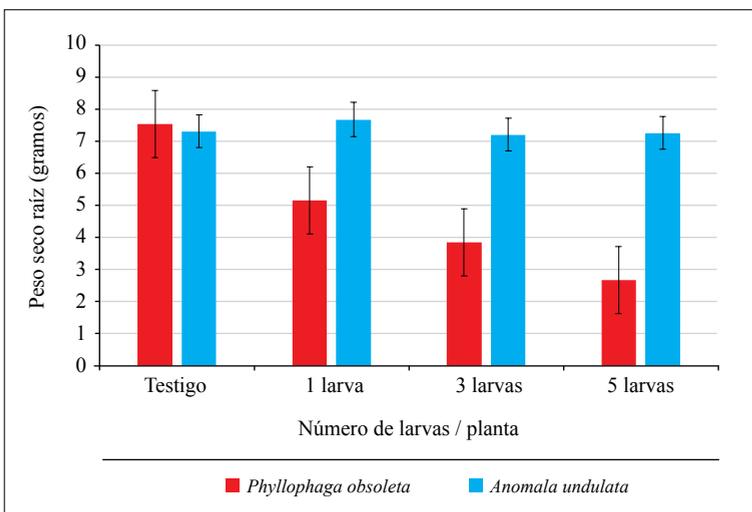


Figura 5. Consumo promedio de raíz (peso seco en gramos) y error estándar en plántulas de café, utilizando una, tres y cinco larvas de *Phyllophaga obsoleta* y *Anomala undulata* por planta, en comparación al testigo.

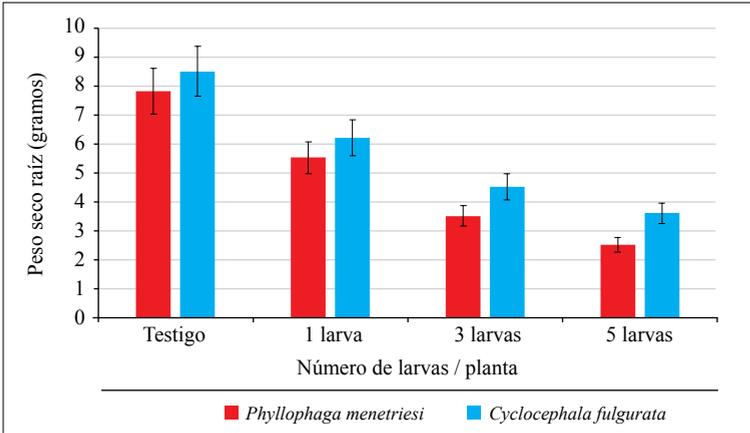


Figura 6. Consumo promedio de raíz (peso seco en gramos) y error estándar en plántulas de café, utilizando una, tres y cinco larvas de *Phyllophaga menetriesi* y *Cyclocephala fulgurata* por planta, en comparación al testigo.



Figura 7. Consumo de raíz de café por larvas de *Phyllophaga sericata*. **a.** Testigo; **b.** Con una larva; **c.** Con tres larvas; **d.** Con cinco larvas, en condiciones de invernadero.

Obtención de enemigos naturales

Se lograron identificar dos especies de parasitoides de larvas de las muestras obtenidas en Santander, que corresponden a un ectoparasitoide *Campsomeris dorsata* (Hymenoptera: Scoliidae) y un endoparasitoide de larvas (Diptera: Tachinidae), género aún no identificado (Figura 8). Ambos parasitoides

fueron obtenidos de larvas de *Cyclocephala fulgurata* causando daños a raíces de café. Este es el primer registro de estos dos parasitoides encontrados sobre larvas de *C. fulgurata*, controlando naturalmente esta especie de chisa, los cuales tienen potencial en control biológico, donde se halló un 30% de parasitismo natural en el campo.



Figura 8. Nuevos registros de parasitoides de chisas de la raíz de café en Santander. **a** y **b.** *Campsomeris dorsata* (Scolliidae), ectoparasitoide de larvas de *Cyclocephala fulgurata*. **c** y **d.** Endoparasitoide de la familia Tachinidae parasitando una larva de *Cyclocephala fulgurata*.

Evaluación de daño causado por adultos en follaje de café

Los resultados de herbivoría de adultos de chisas en follaje de café se presentan en la Figura 9. Los porcentajes de consumo oscilaron entre un 10% hasta un 60% de la lámina foliar, dependiendo de la especie. Se observaron dos tipos de daño, para especies que raspan la dermis de la lámina foliar y las que mastican las hojas, realizando cortes y perforaciones irregulares. Los géneros de chisas que raspan la dermis de las hojas fueron *Symmela* sp.1, *Symmela* sp.2 e *Isonychus orcus*. Los géneros *Anomala*, *Astaena*, *Pelidnota*, *Ancistrosoma*, *Platycoelia* y *Pelidnota*, por el contrario, mastican y consumen los bordes de las hojas y hacen perforaciones irregulares en la lámina foliar (Figura 9). Cada especie realiza un corte y daño específico en el follaje de café, con lo cual podría identificarse la especie causante del daño en el campo.

DISCUSIÓN

Los vuelos de chisas en cultivos de café en los cuatro departamentos evaluados estuvieron asociados con la llegada de los períodos de lluvia, con mayores vuelos en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores para diferentes cultivos como yuca, arracacha, papa, cebolla, ajonjolí, zanahoria y maíz (Serna, 2004; Pardo-Locarno et al., 2007; Zuluaga, 2003; Vásquez y Sánchez, 2006; Díaz et al., 2006; Villegas et al., 2008).

La composición y diversidad de chisas fue diferente en cada localidad (Tabla 2), de ahí la importancia de realizar censos regionales para identificar las especies presentes en las fincas. Algunas especies de larvas de chisas son plagas de importancia económica en cultivos de tubérculos, principalmente, con daños que pueden alcanzar hasta un 80%, esto debido a

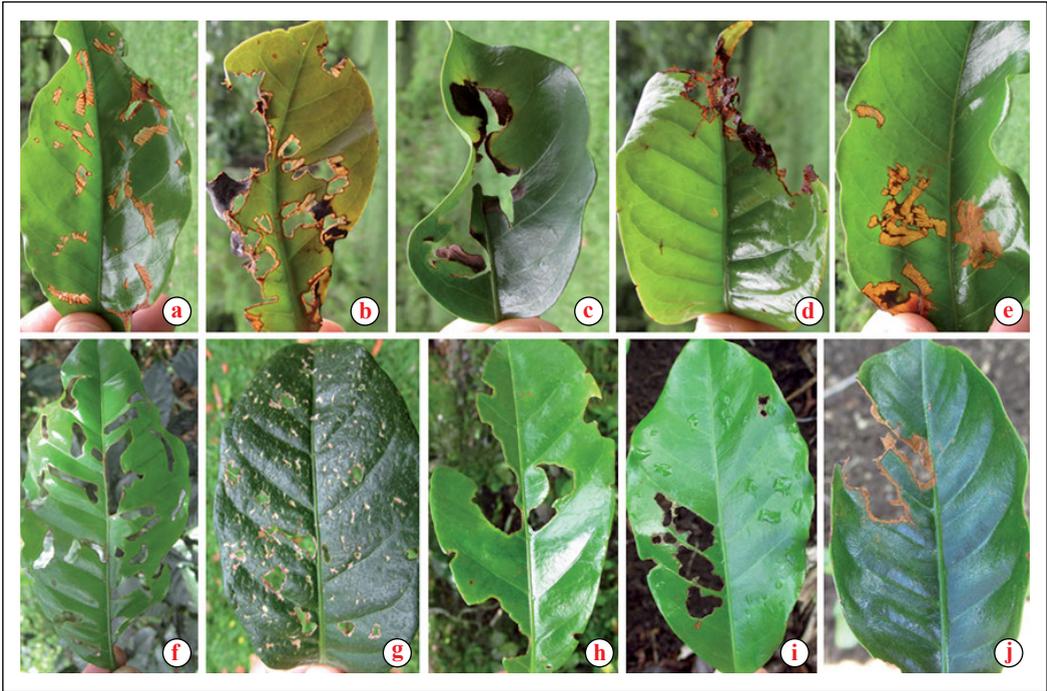


Figura 9. Tipos de daño en el follaje de café por adultos de chisas. **a.** *Symmela* sp.1; **b.** *Anomala cincta*; **c.** *Anomala viridicollis*; **d.** *Ancistrosoma rufipes*; **e.** *Symmela* sp.2; **f.** *Plectris pávida*; **g.** *Isonychus orcus*; **h.** *Astaena valida*; **i.** *Anomala inconstans*; **j.** *Pelidnota prasina*.

que mastican y afectan directamente el órgano productivo de dichos cultivos (Zuluaga, 2003; Vásquez y Sánchez, 2006; Ortega-Ojeda et al., 2007; Pardo-Locarno, 2007; Villegas et al., 2008). En el caso del cultivo de café como pudo observarse en este estudio, no se afectan los frutos directamente, pero sí las raíces secundarias donde se encuentran los pelos absorbentes, ya que las plantas con raíces trozadas por las larvas no pueden tomar los nutrientes del suelo y se atrasan en su desarrollo o se marchitan, en este caso se requiere trasplantar las plantas afectadas, generando daños de hasta un 25%.

Se identificaron las especies de chisas presentes en cultivos de café en cuatro departamentos, que afectan las raíces y el

follaje durante el establecimiento del cultivo. Las especies de chisas están asociadas a las prácticas de manejo del cultivo. En lotes donde se aplica materia orgánica, como pulpa de café o gallinaza parcialmente descompuesta, se favorece el establecimiento y atracción de los adultos para ovipositar.

Las larvas de las chisas dañan las raíces de las plantas de las que se alimentan, cortando las raicillas secundarias del café. Las plantas de café de menos de seis meses son susceptibles al ataque de las larvas. Las plantas afectadas se reconocen porque se tornan cloróticas y marchitas. La evaluación del daño de raíces en almácigos de café permitió identificar las especies que trozan las raíces secundarias, con consumos de hasta un 30% con una larva, 45%

con tres larvas y 65% con cinco larvas, en comparación con el testigo absoluto, siendo los géneros *Phyllophaga* y *Cyclocephala* los más importantes.

En cuanto al tipo de corte realizado en el follaje de las plantas de café por los adultos de diferentes especies, pudieron reconocerse dos tipos de daño, las especies que raspan la dermis de la lámina foliar y las especies que mastican los bordes y perforan las hojas (Figura 9). Por el tipo de daño y forma de los cortes obtenidos bajo condiciones de invernadero pudieron identificarse las especies causantes del daño en las fincas. Los géneros de chisas que raspan la dermis de las hojas fueron *Symmela* e *Isonychus*. Los géneros *Anomala*, *Astaena*, *Pelidnota* y *Platycoelia*, por el contrario, mastican y consumen los bordes de las hojas y hacen perforaciones irregulares en la lámina foliar.

Estos resultados del tipo de daño presentes en el follaje de las plantas y los daños en raíces cuantificados y caracterizados por primera vez en café son importantes para lograr identificar las especies presentes en una localidad específica corroborando y complementando con el monitoreo de los vuelos de los adultos con trampas de luz negra durante las épocas de vuelo, para así poder generar alertas tempranas para desarrollar estrategias de control preventivas en el cultivo de café.

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Alberto Quintero, auxiliar de la Disciplina de Entomología de Cenicafé por el apoyo en las labores de campo y muestreo, a Jovanny Rojas colaborador de la Estación Experimental San Antonio por el trabajo con la cría de chisas y evaluaciones en el campo. Un especial agradecimiento al caficultor

Édison Sánchez, y Alexander Rivera Ardila del Servicio de Extensión de Páramo, Santander, por el apoyo en el campo, a Luis Carlos Pardo-Locarno, Universidad del Pacífico y a Luis Fernando Vallejo, Universidad de Caldas, por la ayuda en la identificación de las especies. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número ENT101012.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

LMC: Investigación, redacción de propuesta, escritura del manuscrito, montaje de bioensayos, evaluación y análisis de datos; **ZNG:** conceptualización metodológica de la propuesta; **JGO:** procesamiento de muestras, curaduría, sistematización y análisis de datos; **CJZ:** montaje de bioensayos, montaje de crías, curaduría y sistematización de datos; **PBM:** Conceptualización y coordinación; **CRA:** montaje de trampas de luz y recolección de adultos en Santander; **CMO:** montaje de trampas de luz y recolección de adultos en Antioquia; **JFT:** montaje de trampas de luz y recolección de adultos en Caldas; **HDM:** montaje de trampas de luz y recolección de adultos en Cauca. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

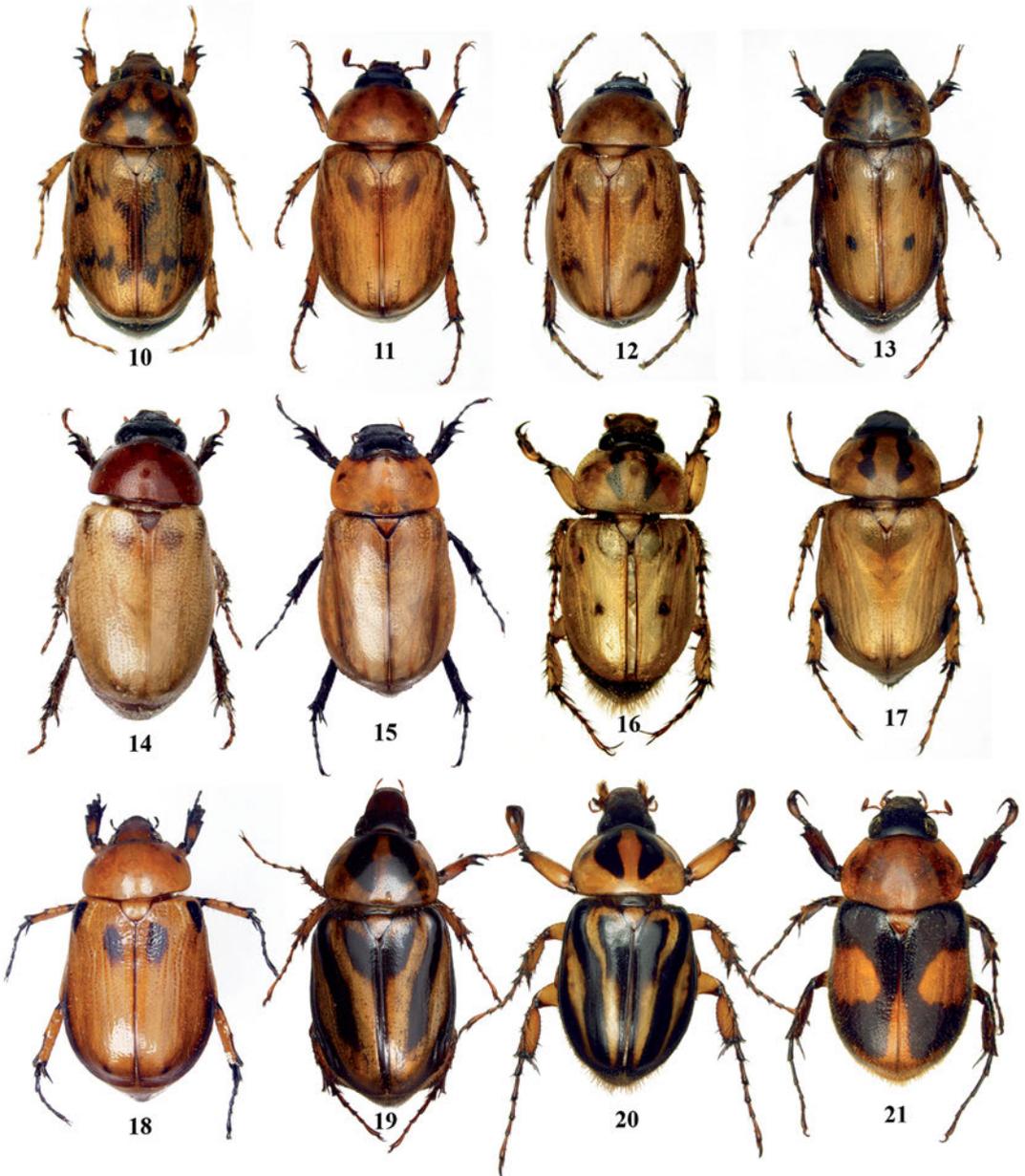
LITERATURA CITADA

- Bugelli, V., Campobasso, C., Verhoff, M., & Amendt, J. (2017). Effects of different storage and measuring methods on larval length values for the blow flies (Diptera: Calliphoridae) *Lucilia sericata* and *Calliphora vicina*. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 57(3), 159–164.
- Bustillo, A. E. (2008). Chisas que afectan cafetales en Colombia. En A. E. Bustillo Parley (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 317–322). Cenicafé.

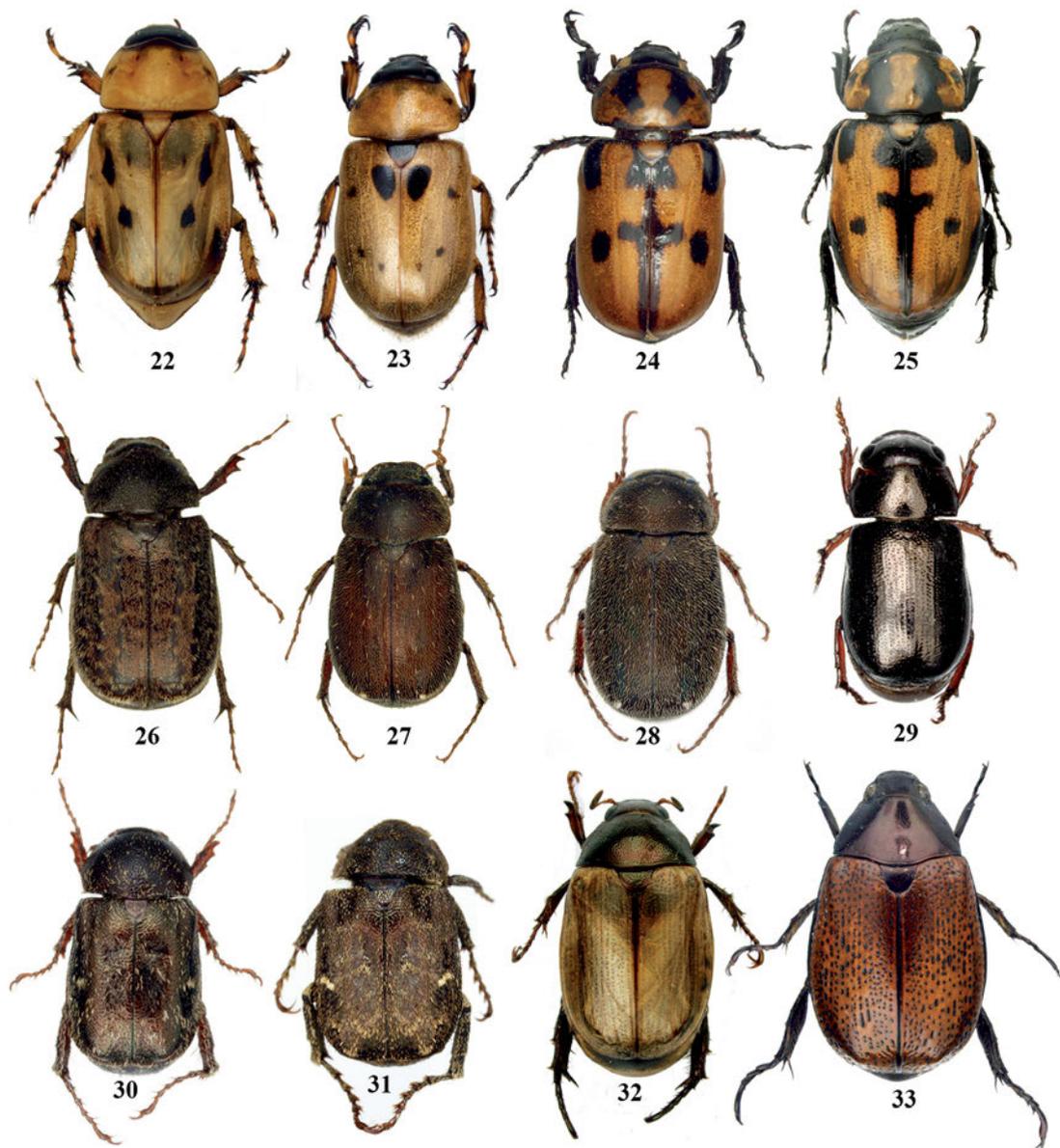
- Constantino, L. M., Gil-Palacio, Z., Benavides Machado, P., Martínez, H., Giraldo-Jaramillo, M., & Villegas García, C. (2013). Otros habitantes naturales del cafetal. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 261–306). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_25
- Díaz Mederos, P., Nájera Rincón, M. B., Lezama Gutiérrez, R., Rebolledo Domínguez, O., Flores López, H. E., & Martínez Sifuentes, J. A. (2006). Especies de gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) y su asociación con factores agroclimáticos y de manejo del maíz en los altos de Jalisco, México. *Fitosanidad*, 10(3), 209–215.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA –FNC. 2020. Ensayos sobre economía cafetera No. 33. 104 p. <https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2020/05/Revista-No.-33-Final.pdf>
- King, A. (1994). Biología e identificación de Phyllophaga de importancia económica en América Central. *Seminario-Taller Centroamericano sobre biología y control de Phyllophaga spp.* (pp. 33-43). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Londoño, M. E. (2008, julio 25-27). Las chizas Coleóptera: Melolonthidae en los altiplanos de Antioquia (Colombia). Biología, ecología y manejo. *Memorias XXXIV Congreso de Entomología*. Cartagena, Colombia. Pp. 156-164. https://www.socolen.org.co/files/ugd/040ab7_88d57c4d3ca246b999cd3692c3435324.pdf
- López García, M. M., García Atencia, S., & Amat García, G. (2015). Escarabajos fitófagos (Coleoptera: Scarabaeidae “Pleurosticti”) de los Andes orientales de Colombia (departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca). *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 19(2), 322-358. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.20>
- Montoya, G. C., Madrigal-C, A., & Ramírez, C. A. (1994). Evaluación de trampas de luz para el control de adultos de Scarabaeidae (Coleoptera) en cultivos de papa en La Unión (Antioquia). *Revista Colombiana de Entomología*, 20(2), 130-136. <https://doi.org/10.25100/socolen.v20i2.10014>
- Morón, M. A. (1986). *El género phyllophaga en México: Morfología, distribución y sistemática supraespecífica (insecta: coleoptera)*. Instituto de Ecología.
- Morón, M. A. (1995). Clave para la identificación de los principales géneros con larvas edáficas de Coleóptera Melolonthidae de Colombia. *II Curso Nacional sobre plagas rizofagas “Taxonomía e identificación de larvas y adultos de Coleoptera: Scarabaeidae, plagas en cultivos de importancia económica”*. Bogotá, Colombia.
- Neita Moreno, J. C. (2011). Escarabajos (Coleoptera: Scarabaeoidea) del departamento del Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 1(1), 17–27. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5168140>
- Ortega-Ojeda, C. A., Melo-Molina, E. L., & Gaigl, A. (2007). Densidad letal de Phyllophaga menetriesi (Coleoptera: Melolonthidae) sobre plantas de yuca (Manihot esculenta). *Revista Colombiana de Entomología*, 33(1), 17–20. <https://doi.org/10.25100/socolen.v33i1.9309>
- Pardo-Locarno, L. C. (2000). Avance en el estudio de chizas rizófagas (Coleoptera: Melolonthidae) en Colombia, observaciones sobre los complejos regionales y nuevos patrones morfológicos de larvas. *III curso nacional sobre taxonomía de escarabajos de importancia económica en Colombia*. Palmira, Colombia.
- Pardo-Locarno, L. C., Montoya-Lerma, J., & Schoonhoven, A. (2003). Abundancia de chizas rizófagas (Coleoptera: Melolonthidae) en agroecosistemas de Caldoño y Buenos Aires, Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 29(2), 177–183. <https://doi.org/10.25100/socolen.v29i2.9602>
- Pardo-Locarno, L. C., Montoya Lerma, J., Schoonhoven, A., & Moron, M. A. (2005). Riqueza del complejo chisa (Coleoptera: Melolonthidae) en cuatro agroecosistemas del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 54(4), 25–32. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/44385>
- Pardo-Locarno, L. C., Morón, M. A., & Montoya-Lerma, J. (2007). Descripción de los estados inmaduros de Astaena valida (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae: Sericini). *Acta Zoológica Mexicana*, 23(2), 129–141. <https://doi.org/10.21829/azm.2007.232572>
- Pardo-Locarno, L. C., & Montoya-Lerma, J. M. (2007). Ciclo de vida, importancia agrícola y manejo integrado de la chisa rizófaga Phyllophaga menetriesi Blanchard (Coleoptera: Melolonthidae), en Cauca y Quindío, Colombia. *Acta Agronómica*, 56(4), 195–202.
- Ratcliffe, B. (2003). The Dynastine Scarab Beetles of Costa Rica and Panama (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae). *Bulletin of the University of Nebraska State Museum*, 16, 1–506. <https://unsm-ento.unl.edu/Monographs/DynastineCRPanama.pdf>
- Statistical Analysis System Institute. (2007). SAS User’s Guide (version 9.1). [Software computacional].

- Serna, L. (2004). *Reconocimiento de especies del complejo chisa (Coleoptera–Melolonthidae) asociados a los cultivos de yuca y pasto en el municipio de Pereira y sus alrededores* [Tesis de pregrado]. Universidad de Caldas.
- Vallejo, L. F., Morón, M., Orduz, S. (2000). Avances en El Estudio Morfológico del Complejo Chiza (Coleoptera: Melolonthidae) de Colombia. *Memorias XXIV Congreso de Entomología*.
- Vallejo, L. F., & Wolff, M. (2013). The genus *Phyllophaga* Harris (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) in the Colombian Andean Mountains. *Zootaxa*, 3722(2), 101–142. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3722.2.1>
- Vásquez, N., & Sánchez, G. (2004). Propuesta de manejo integrado de las chisas (Coleoptera, Melolonthidae) en el cultivo de arracacha. En J. Seminario (Ed.), *Raíces Andinas- Contribuciones al conocimiento y a la capacitación* (pp. 127–147). Centro Internacional de la Papa. https://books.google.com.co/books?id=Lsz8Eir9IIC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summ ary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Villegas, N. P., Gaigl, A., & Vallejo-E., L. F. (2008). El complejo chisa (Coleoptera: Melolonthidae) asociado a cebolla y pasto en Risaralda, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 34(1), 83–89. <https://doi.org/10.25100/socolen.v34i1.9255>

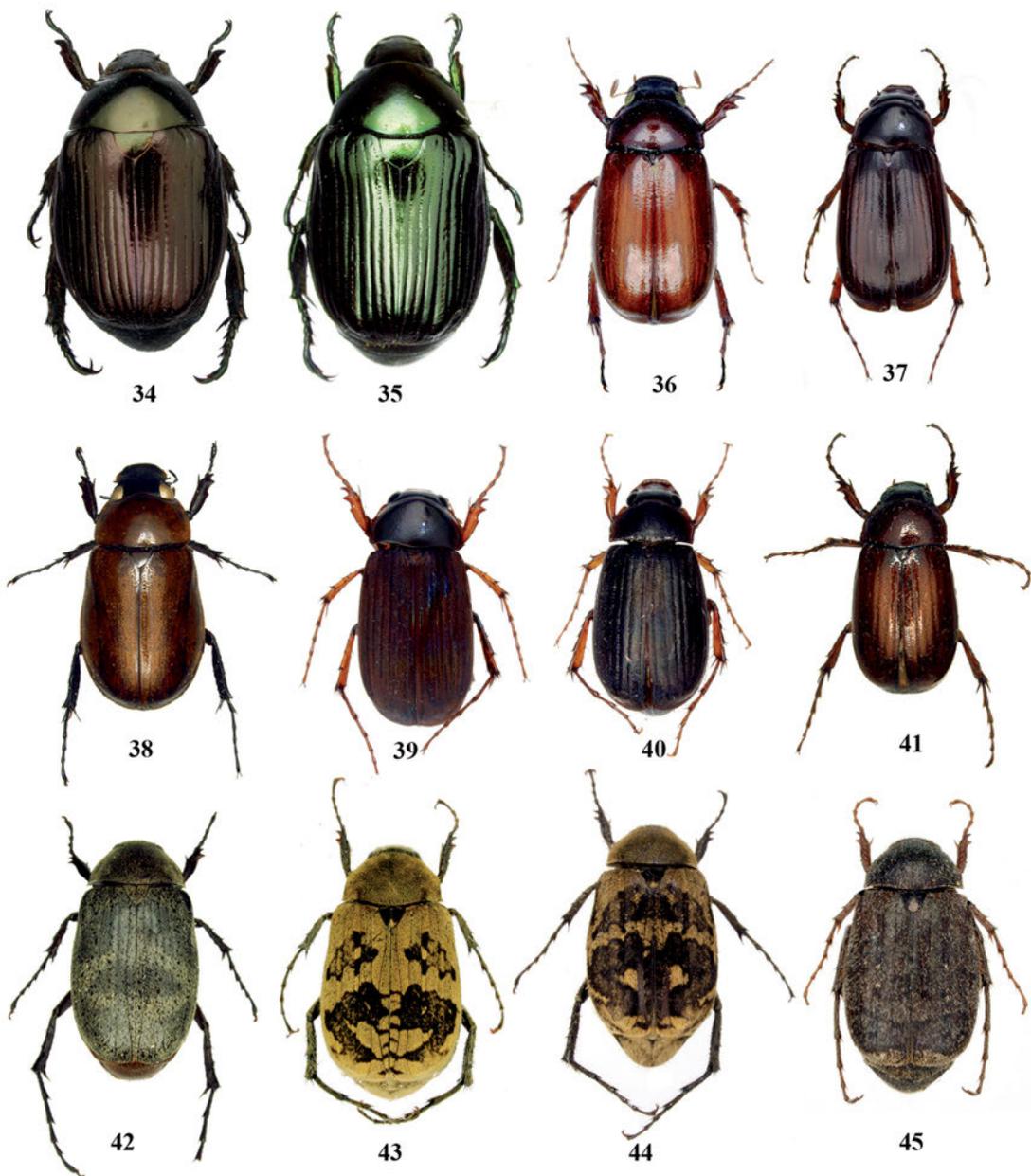
ANEXO 1



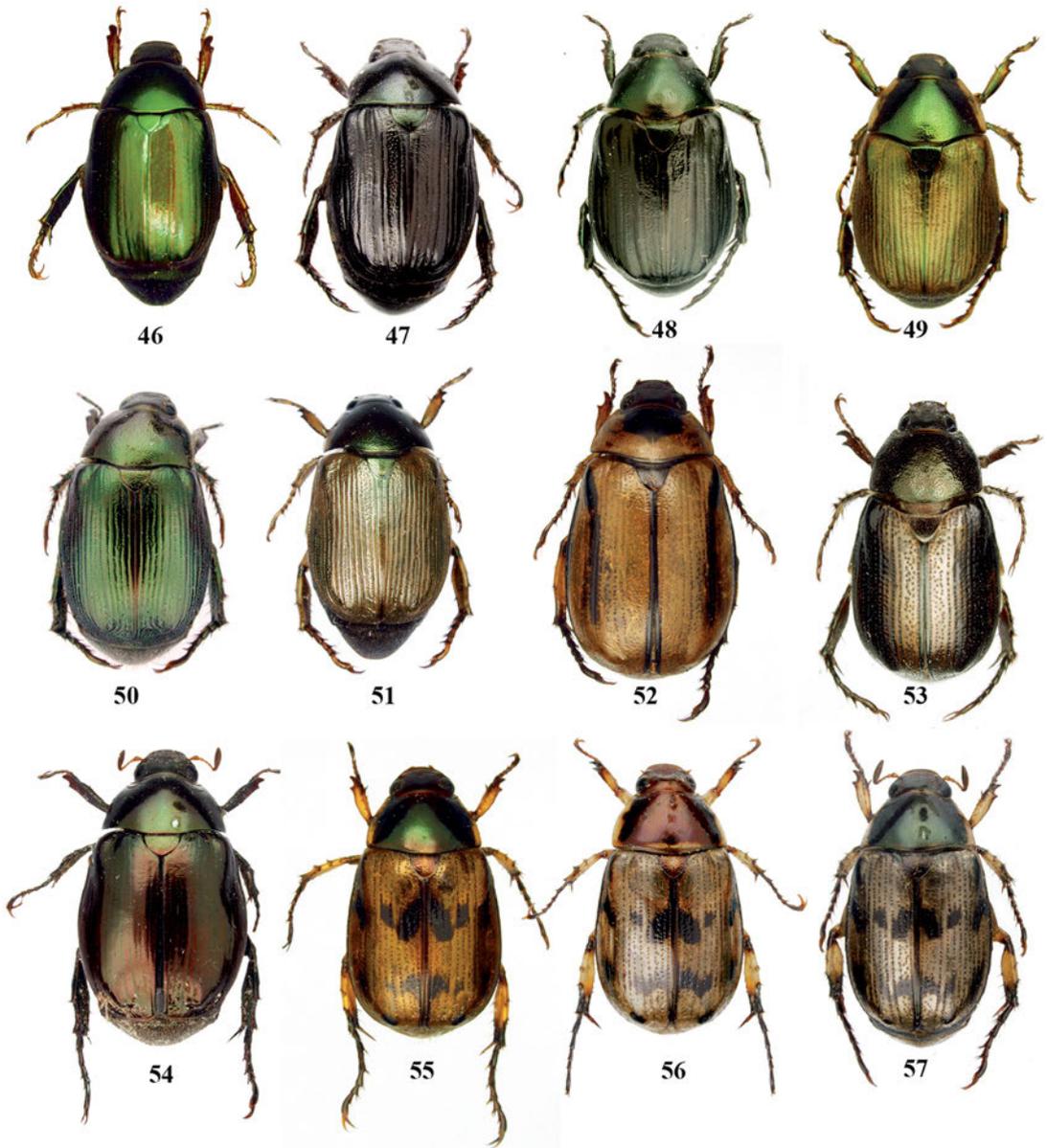
Figuras 10-21. Adultos de chisas asociadas al cultivo de café en Colombia. **10.** *Cyclocephala fulgurata* **11.** *Cyclocephala lunulata* **12.** *Cyclocephala lunulata* **13.** *Cyclocephala morphoidina* **14.** *Cyclocephala melanocephala* **15.** *Cyclocephala ruficolis* **16.** *Cyclocephala amazona* **17.** *Cyclocephala amazona* **18.** *Ancognatha humeralis* **19.** *Cyclocephala pardolocarnoi* **20.** *Cyclocephala tutilina* **21.** *Cyclocephala gregaria*.



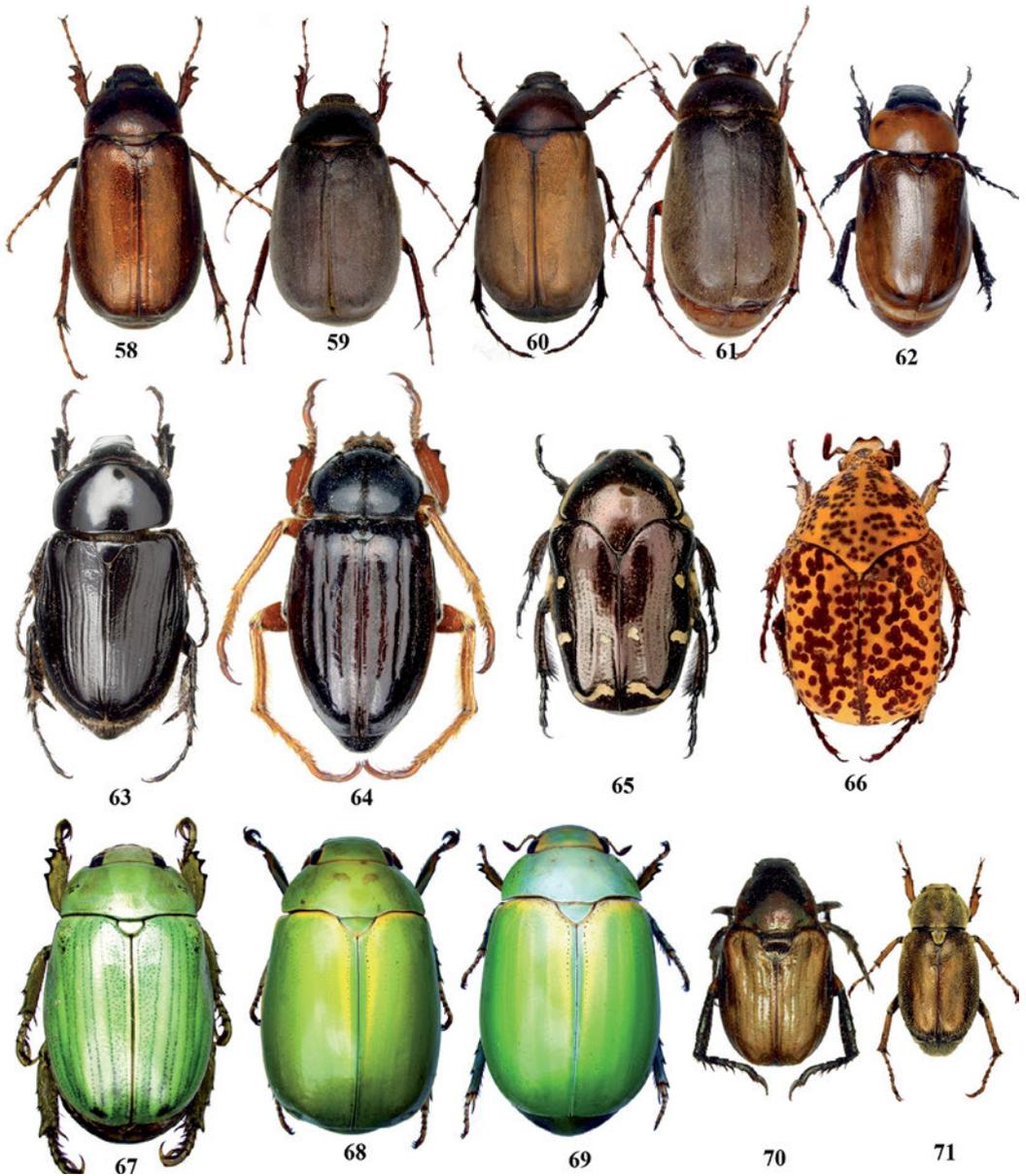
Figuras 22-33. Adultos de chisas asociadas al cultivo de café en Colombia. 22. *Cyclocephala* sp. 1. 23. *Cyclocephala* sp. 2. 24. *Cyclocephala mafafa*. 25. *Cyclocephala mafafa*. 26. *Plectris pavida* 27. *Plectris talinay* macho. 28. *Plectris talinay* hembra. 29. *Leucothyreus femuratus*. 30. *Isonychus* sp. 1. 31. *Isonychus* sp. 2. 32. *Callisthetus* sp. 1. 33. *Callisthetus cupricollis*.



Figuras 34-45. Adultos de chisas asociadas al cultivo de café en Colombia. **34.** *Callisthetus caucanus*. **35.** *Callisthetus caucanus*. **36.** *Astaena valida*. **37.** *Astaena* sp. 1. **38.** *Astaena* sp. 2. **39.** *Symmela* sp. 1. **40.** *Symmela* sp. 2. **41.** *Symmela* sp. 3. **42.** *Isonychus podicalis*. **43.** *Isonychus ursus*. **44.** *Isonychus ursus*. **45.** *Isonychus* sp. 1



Figuras 46-57. Adultos de chisas asociadas al cultivo de café en Colombia. 46. *Anomala pyropyga*. 47. *Anomala cincta*. 48. *Anomala cincta* f. verde. 49. *Anomala viridicollis*. 50. *Anomala viridicollis*. 51. *Anomala viridicollis*. 52. *Anomala inconstans*. 53. *Anomala* sp.1 54. *Anomala* sp. 2. 55. *Anomala undulata*. 56. *Anomala undulata*. 57. *Anomala undulata*.

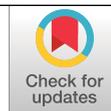


Figuras 58-71. Adultos de chisas asociadas al cultivo de café en Colombia. **58.** *Phyllophaga obsoleta*. **59.** *Phyllophaga menetriesi*. **60.** *Phyllophaga sericata*. **61.** *Phyllophaga gigantea*. **62.** *Aspidolea singularis*. **63.** *Dyscinetus dubius*. **64.** *Ancistrosoma rufipes*. **65.** *Amitao decemguttatus*. **66.** *Hoplopyga miliaris*. **67.** *Pelidnota prasina*. **68.** *Platycoelia valida*. **69.** *Platycoelia cyanicollis*. **70.** *Strigoderma columbica*. **71.** *Chariodema xylina*.

CONDUCTANCIA HIDRÁULICA FOLIAR EN ACCESIONES DE LA COLECCIÓN NÚCLEO DE *Coffea* SP. Y PROGENIES DE LA VARIEDAD CENICAFÉ 1

José Ricardo Acuña Zornosa *, Cristian David Camilo **, Carlos Andrés Unigarro Muñoz *,
Natalia Catalina Flechas Bejarano *

Acuña, R., Camilo, D. C., Unigarro, C.A., & Flechas, N. (2023). Conductancia hidráulica foliar en accesiones de la colección núcleo de *Coffea* sp. y progenies de la variedad Cenicafé 1. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74203. <https://doi.org/10.38141/10778/74203>



Estudios con *Coffea arabica* L. cultivado a la sombra y a plena exposición solar han demostrado que la conductancia hidráulica de la hoja de café (K_F) es el principal impedimento para maximizar el intercambio gaseoso en las hojas y su tasa fotosintética. Diversidad de estudios evolutivos en plantas superiores validan la correlación positiva entre la conductividad hidráulica foliar (K_F) y la fotosíntesis. La colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp. de Cenicafé representa, en gran medida, la variabilidad genética y fenotípica de la colección colombiana de café, sin embargo, las diferencias entre las accesiones en términos de conductancia hidráulica foliar son desconocidas; por lo tanto, aun no es posible su uso para cruzamientos enfocados al desarrollo de progenies de café con mayores valores de conductancia. En este proyecto se midió la conductancia foliar de 42 accesiones de la colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp. y ocho progenies de la variedad Cenicafé 1, usando el método del flujo evaporativo. Los valores de K_F reportados fueron estadísticamente significativos, demostrando que hubo agrupamiento entre las accesiones. Las accesiones CCC16, CCC50, CCC82, CCC176, CCC427, CCC1011, CCC1045 y CCC1131 fueron clasificadas dentro del grupo de conductancia foliar muy alta. Las K_F de las ocho líneas de la variedad Cenicafé 1 se clasificaron dentro del grupo de conductancia muy alta (25%), alta (37,5%) y moderada (37,5%). Ninguna de las progenies de la variedad Cenicafé 1 fue clasificada en el grupo de conductancia baja, lo cual es muy relevante para el desempeño fotosintético de esta variedad.

Palabras clave: conductancia vegetal, diversidad genética, flujo evaporativo, germoplasma de café, Cenicafé, Colombia.

LEAF HYDRAULIC CONDUCTANCE IN ACCESSIONS FROM THE CORE COLLECTION AND PROGENIES OF THE VARIETY CENICAFÉ 1

Studies involving *Coffea arabica*, grown under varying shade levels and sun exposure, have consistently highlighted leaf hydraulic conductance (K_F) as a crucial obstacle to maximizing gas exchange and photosynthetic rate. Extensive research in plant evolution has substantiated the positive relationship between leaf hydraulic conductivity and photosynthesis. The core collection of *Coffea* sp. germplasm, curated by Cenicafé, effectively encapsulates the genetic and phenotypic diversity within the Colombian coffee collection. Yet, the variations in leaf hydraulic conductance among the accessions within this core collection remain unexplored. Consequently, leveraging this genetic resource for the purpose of breeding coffee progenies with enhanced conductance traits has remained a challenge. In this project, the leaf conductance of 42 accessions from the core collection of *Coffea* sp. and eight progenies derived from the Cenicafé 1 variety was qualified utilizing the evaporative flow method. The K_F values reported in this research yield statistically significant findings, revealing distinct groupings among the accessions. Notably, accessions CCC16, CCC50, CCC82, CCC176, CCC427, CCC1011, CCC1045 and CCC1131 exhibited remarkably high leaf conductance. The K_F of the 8 lines of the Cenicafé 1 variety showcased a range of leaf conductance levels, spanning from very high (25%), to high (37.5%) and moderate (37.5%). Importantly, none of the progeny from the Cenicafé 1 variety fell within the low conductance category, underscoring the significance of these findings for enhancing the photosynthetic performance of this coffee variety.

Keywords: plant conductance, genetic diversity, evaporative flux, coffee germplasm, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico III, Investigador Científico II y Asistente de Investigación, respectivamente. Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-6935-2264>, <https://orcid.org/0000-0002-7344-3211>, <https://orcid.org/0000-0002-3080-4988>, respectivamente.

** Investigador Científico I hasta 31 mayo de 2022. Disciplina de Fisiología Vegetal, Cenicafé



El café (*Coffea arabica* L.) es un árbol perenne, con hojas hipoestomáticas, que ha evolucionado en el sotobosque africano y se considera una especie adaptada a la sombra (Tatagiba et al., 2010). Sin embargo, las nuevas variedades de esta especie de café crecen bien sin sombra e incluso superan en rendimiento de café a las variedades de sombra (Kumar & Tieszen, 1980). Con concentraciones de CO₂ atmosférico y luz saturada, *C. arabica* muestra una baja tasa fotosintética (4-11 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) (Mosquera et al., 1999; Franck et al., 2006; Silva et al., 2004; Zapata et al., 2017), que está en el rango más bajo registrado para los árboles (Ceulemans & Saugier, 1993). En estudios realizados con *C. arabica* cultivado a la sombra y a plena exposición solar, Martins et al. (2014), demostraron que la conductancia hidráulica de la hoja (K_F) es el principal impedimento para maximizar el intercambio gaseoso en las hojas y su tasa fotosintética. Diversidad de estudios evolutivos en plantas superiores, incluyendo especies de importancia agrícola, han validado la correlación positiva entre la conductividad hidráulica foliar (K_F) y la tasa de fotosíntesis (Brodribb et al., 2007; Brodribb & Buckley, 2018; Machado et al., 2021). La colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp. del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) está compuesta por cerca de 50 accesiones silvestres y semisilvestres de *Coffea* sp. y representa, en gran medida, la variabilidad genética y fenotípica de toda la colección colombiana de germoplasma del café (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2017, 2018, 2019 y 2020). Sin embargo, las diferencias entre las accesiones en términos de conductancia hidráulica foliar son desconocidas, motivo por el cual su potencial uso para generar cruzamientos genéticos, enfocados al desarrollo de progenies de café con mayores valores de conductancia, aún no es posible. Tampoco se conoce si existe variación de este rasgo fisiológico entre las progenies de la variedad Cenicafé 1. En este estudio se calculó la K_F

de 42 accesiones de la colección núcleo de germoplasma de café y de ocho progenies de la variedad Cenicafé 1, con el objetivo de conocer la variabilidad fenotípica de este rasgo.

MATERIALES Y METODOS

Localización y material vegetal

La fase de campo de la investigación se realizó en la Estación Experimental de Paraguacito ubicada en el municipio de Buenavista-Quindío (04°23' N y 75°44' W a 1.203 m de altitud). Las plantas fueron sembradas en diciembre de 2016 en parcelas, cada una compuesta por 32 plantas. Las muestras biológicas fueron recolectadas entre julio 1 de 2021 y mayo 31 de 2022. De acuerdo al registro meteorológico de la estación climática instalada en el lugar, durante los 11 meses la temperatura mínima fue 17,4°C y la máxima de 29,6°C; el promedio de la radiación fotosintéticamente activa fue 113,634 μmol m⁻² s⁻¹, el acumulado de lluvias fue 2.569 mm y el promedio de humedad relativa fue 82%. Por accesión de *Coffea* sp. y por cada progenie de Cenicafé 1, se recolectaron cuatro ramas plagiotrópicas del tercio superior de la planta, luego estas fueron inmediatamente llevadas al laboratorio de Fisiología en Cenicafé Planalto, ubicado en el municipio de Manizales, Caldas (05°00' N y 75°36' W a 1.310 m de altitud).

Determinación de la conductancia hidráulica foliar (K_F) en hojas de *Coffea* sp.

La K_F de cada accesión de *Coffea* sp. y cada progenie de la variedad Cenicafé 1 se calculó mediante el método de flujo evaporativo (Sack & Scofoni, 2012). La K_F se calculó midiendo la relación entre el flujo hídrico a través de la hoja y su fuerza motriz, representada en el gradiente hídrico entre el peciolo y el sitio de evaporación (potencial hídrico) usando la ecuación <1> fórmula de Wu et al. (2020).

$$K_F = E / A * (0 - Y) \quad <1>$$

Donde, K_F = Conductancia hidráulica foliar ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); E = Flujo hídrico (mmol/s); A = Área de la hoja (m^2); Y = Potencial hídrico de la hoja (MPa).

Semanalmente y hasta completar todas las accesiones y las ocho progenies de Cenicafé 1, se recolectaron cuatro ramas plagiotrópicas, de cada una de las cuatro plantas escogidas aleatoriamente por acesión, y el extremo inferior de cada rama se colocó dentro de un tubo de polietileno con 10 mL de agua ultrapura desgasificada. Los tubos con las ramas se dispusieron dentro de una bolsa plástica negra con toallas de papel húmedas en su interior. Las muestras biológicas se transportaron al laboratorio y se sumergieron en un recipiente con agua ultra pura y desgasificada durante la noche. Al día siguiente y una vez las muestras se hidrataron por lo menos 12 h, se verificó que el potencial hídrico de las hojas de cada rama estuviera entre -0,3 y 0,0 MPa. En este caso, se seleccionaron ocho hojas del 4° o 5° par de cada rama, partiendo del ápice de la rama, que estuvieran sanas y sin aparentes deficiencias nutricionales y, bajo el agua, por cada hoja se realizó un corte transversal del peciolo e inmediatamente se conectó a un extremo de un tubo de silicona de forma que no ingresara aire al sistema. El otro extremo del tubo se conectó a una probeta graduada de 10 mL con agua ultra pura, la cual estaba sobre el plato de una balanza analítica (AB265-S/FACT, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland; $\pm 10 \mu\text{g}$). La hoja, conectada al tubo y con la superficie adaxial hacia arriba, se colocó encima de un ventilador y bajo una fuente de luz activa, ligeramente por encima del nivel del menisco de agua de la probeta graduada. Entre la fuente de luz y la superficie de la hoja se interpuso una bandeja de vidrio con agua para absorber el calor de la lámpara y se

mantuvo la temperatura entre 24°C y 26°C con recambio del agua (Figura 1).

Por cada hoja, los datos de flujo hídrico se obtuvieron automáticamente de la balanza cada 30 segundos y el cálculo de la tasa de flujo hídrico (E) se realizó con el promedio de 10 medidas hechas después de 20-30 minutos, cuando el coeficiente de variación del flujo fuera menor del 5%. La hoja se retiró del sistema y se detuvo su transpiración durante 20 minutos, colocándola en una bolsa plástica sellable en la que, previamente, se había exhalado el CO_2 en su interior. Luego, se midió el potencial hídrico (Y) con una cámara de presión de Scholander (Modelo 600, PMS Instruments, OR, USA). Finalmente se calculó el área de la hoja (A) con un escáner y un software de procesamiento de imágenes (Schneider et al., 2012). La conductancia (K_F) se calculó con la Ecuación <1> y se expresó en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$. Dado que la temperatura se mantuvo controlada en $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, los datos para el cálculo de K_F no fueron corregidos por temperatura.

Análisis de la información

El análisis descriptivo fue realizado usando gráficos de caja, promedio, mediana y desviación estándar para cada acesión. La clasificación de las accesiones y las ocho progenies de la variedad Cenicafé 1 fue realizada con base en ubicación de sus promedios con respecto a distribución por cuantil general de la variable K_F , agrupándolas en grupos de conductancia según su K_F . Los datos calculados en cada acesión y de las progenies de Cenicafé 1 fueron analizados mediante un modelo anidado completamente aleatorio, usando sumas de cuadrados del Tipo II en el análisis de varianza (AOV). Las 42 accesiones y las ocho progenies de Cenicafé 1 fueron anidadas en cada grupo de conductancia. Las comparaciones múltiples post hoc se realizaron

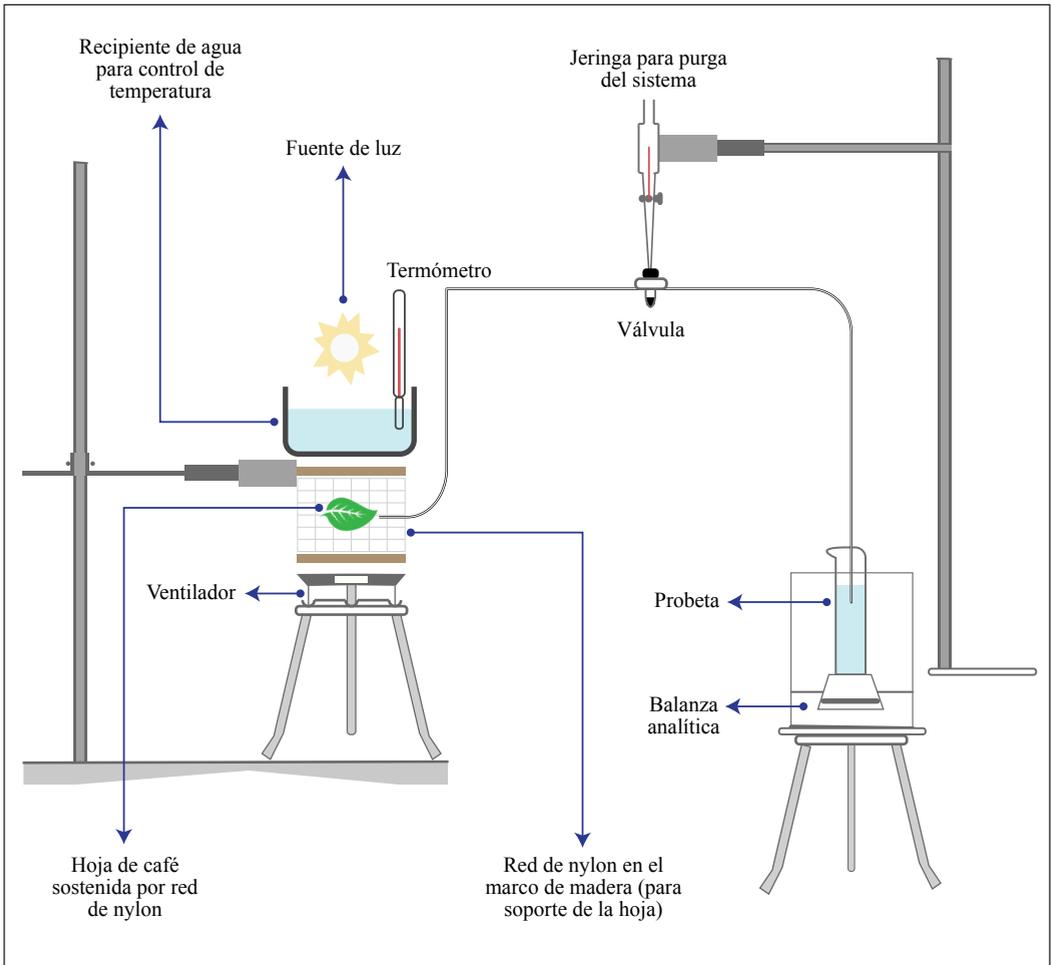


Figura 1. Esquema del montaje instrumental para la determinación del flujo evaporativo en hojas de *Coffea* sp. Los detalles del procedimiento se describen en el texto.

con la prueba estadística REGWQ (Prueba de Ryan / Einot y Gabriel / Welsch) para los grupos de conductancia donde la prueba F del AOV presentó diferencias estadísticas. Los supuestos de normalidad (Prueba de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianza (Prueba de Levene) fueron cumplidos en el AOV. Los paquetes “ggplot2”, “rstatix”, “stats” y “mutoss” del software R (R Development Core Team, 2010) fueron usados para el análisis de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El agua es el compuesto más abundante en las células vegetales, por lo que mantener un medio acuoso estable es crucial para los procesos fisiológicos de las plantas. La atmósfera es la fuente de CO₂, necesario para la fotosíntesis; sin embargo, suele ser bastante seca, lo que provoca una pérdida neta de agua por evaporación, principalmente a

través de las hojas. Para satisfacer la demanda de absorción de CO₂ y minimizar la pérdida de agua, las plantas deben equilibrar esta pérdida con el transporte de agua desde el suelo. Esta tasa de transpiración está determinada principalmente por la difusión de vapor de la hoja y el déficit de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera, y la eficiencia del transporte de agua a través de la hoja se define como conductancia hidráulica de la planta. Aunque las distancias que el agua debe atravesar dentro de las hojas son pequeñas en relación con la ruta suelo-planta-atmósfera, las hojas constituyen el mayor cuello de botella para el transporte de agua, contribuyendo significativamente a determinar la conductancia de la planta (Xiong & Nadal, 2020). Por lo tanto, gran número de estudios en las últimas décadas se concentran en el transporte de agua a través de la hoja, demostrando una directa correlación entre la conductancia hidráulica foliar (K_F) y el rendimiento fotosintético

(Brodrribb & Buckley, 2018; Scoffoni et al., 2016; Xiong & Nadal, 2020).

En las Tablas 1 y 2 se describen los valores de conductancia hidráulica foliar de las 42 accesiones y las 8 progenies de la variedad Cenicafé 1 evaluadas, de acuerdo al método del flujo evaporativo descrito en la metodología. Las accesiones y progenies de Cenicafé 1 se clasificaron en cuatro grupos mediante la distribución por cuartil de la variable K_F. Los cuatro grupos quedaron conformados así: baja (K_F ≤ 0,96 mmol m⁻² s⁻¹ MPa⁻¹); moderada (K_F= entre 0,96 y 1,60 mmol m⁻² s⁻¹ MPa⁻¹); alta (K_F entre 1,60 y 2,60 mmol m⁻² s⁻¹ MPa⁻¹); muy alta (K_F ≥ 2,60 mmol m⁻² s⁻¹ MPa⁻¹) (Figura 2). Con relación a las accesiones, el 19% conformaron el grupo de conductancia “muy alta”, el 21,4% de “alta”, el 42,8% de “moderada” y el 16,7% de “baja”. Respecto a las progenies de Cenicafé 1, el 25% conformaron el grupo de muy alta, 37,5% el de alta, y 37,5% el de moderada.

Tabla 1. Valores de conductancia hidráulica foliar (K_F; mmol m⁻²s⁻¹ MPa⁻¹) de las 42 accesiones que conforman la colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp. La K_F de cada accesión se calculó mediante el método de flujo evaporativo (Sack & Scoffoni, 2012). Se utilizaron ocho hojas por cada una de las accesiones de acuerdo a la metodología descrita en el texto.

Identificador Accesión	Media	Desv. Estándar	Mediana
CCC35	0,336	0,100	0,347
CCC115	0,557	0,145	0,566
CCC187	0,686	0,109	0,666
CCC403	0,660	0,063	0,673
CCC1087	0,519	0,067	0,501
CCC1146	0,449	0,114	0,430
CCC40	0,505	0,170	0,475
CCC135	1,268	0,170	1,272
CCC165	1,637	0,189	1,628
CCC168	1,453	0,189	1,458

Continúa...

...continuación.

Identificador Accesoión	Media	Desv. Estándar	Mediana
CCC178	1,062	0,167	1,035
CCC183	0,980	0,179	0,906
CCC204	0,989	0,189	1,072
CCC210	1,231	0,204	1,299
CCC293	1,085	0,156	1,063
CCC309	0,959	0,175	0,919
CCC343	1,272	0,143	1,335
CCC354	1,724	0,316	1,709
CCC474	0,932	0,150	0,928
CCC527	1,025	0,236	0,949
CCC534	1,237	0,274	1,197
CCC1056	1,387	0,288	1,301
CCC1087	1,533	0,285	1,565
CCC48	0,854	0,129	0,884
CCC757	1,594	0,124	1,570
CCC1026	2,166	0,259	2,188
CCC156	2,457	0,374	2,558
CCC428	2,019	0,289	2,020
CCC436	2,261	0,282	2,266
CCC496	2,518	0,339	2,589
CCC1059	2,071	0,172	2,024
CCC1102	2,550	0,659	2,541
CCC66	2,250	0,360	2,378
CCC129	2,559	0,265	2,485
CCC1011	4,397	0,845	4,455
CCC1131	5,343	0,307	5,176
CCC50	3,574	0,351	3,648
CCC176	3,151	0,183	3,225
CCC427	4,609	0,399	4,589
CCC1045	4,392	0,708	4,491
CCC16	3,352	0,339	3,387
CCC82	4,668	0,582	4,606

Tabla 2. Valores de conductancia hidráulica foliar (K_F ; $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) de las ocho progenies que conforman la variedad Cenicafé 1. La K_F de cada progenie se calculó mediante el método de flujo evaporativo (Sack & Scofoni, 2012). Se utilizaron ocho hojas por cada una de las accesiones de acuerdo a la metodología descrita en el texto.

Variedad Cenicafé 1 (Progenies)	Media	Desv. Estándar	Mediana
Cenicafé 1(6)	1,49	0,370	1,65
Cenicafé 1(7)	1,54	0,467	1,47
Cenicafé 1(8)	1,49	0,043	1,49
Cenicafé 1(1)	2,05	0,309	2,06
Cenicafé 1(4)	2,36	0,461	2,37
Cenicafé 1(5)	2,18	0,395	2,24
Cenicafé 1(2)	4,27	0,670	4,21
Cenicafé 1(3)	4,52	0,720	4,19

El análisis de varianza (AOV) para la variable K_F corroboró las diferencias entre los cuatro grupos ($Df= 3$; $F= 1631,96$; $p= < 2,0 \times 10^{-16}$). La comparación entre grupos mostró que aquel con conductancia “4. Muy Alta” logró la mayor K_F con respecto a los demás en términos estadísticos (entre 43% y 87%), en segundo lugar, el grupo con conductancia “3. Alta” fue estadísticamente mayor que el de conductancia “2. Media” y “1. Baja” (47% y 77%, respectivamente). El grupo con conductancia “1. Baja” fue estadísticamente menor que el resto de grupos (entre 57% y 87%) (Figura 3).

Los valores de K_F reportados en esta investigación fueron estadísticamente significativos para demostrar que hubo agrupamiento entre las accesiones de la colección núcleo de germoplasma de café y entre las progenies que conforman la variedad Cenicafé 1. La conductancia hidráulica foliar

mostró una significativa variación, de hasta diez órdenes de magnitud, entre las accesiones que conforman la colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp. Las accesiones CCC16, CCC50, CCC82, CCC176, CCC427, CCC1011, CCC1045 y CCC1131 fueron clasificadas dentro del grupo conductancia foliar muy alta, siendo la accesión CCC1131 (“Catuai”) la única que corresponde a una variedad comercial que es cultivada en el Brasil. Cabe mencionar que dentro de este grupo se identificó una accesión que corresponde a la especie diploide *Coffea canephora*. Las demás son accesiones silvestres y semisilvestres de la especie *C. arabica* recolectadas en la segunda mitad del siglo XX en las expediciones botánicas de la FAO en 1968 (Meyer et al., 1968) y del instituto ORSTOM (ahora IRD; Francia) en 1966 (Guillaumet & Hallé, 1978) y que se encuentran en los bancos de germoplasma de café establecidos en Colombia, Costa Rica y Brasil (Meyer et al., 1968).

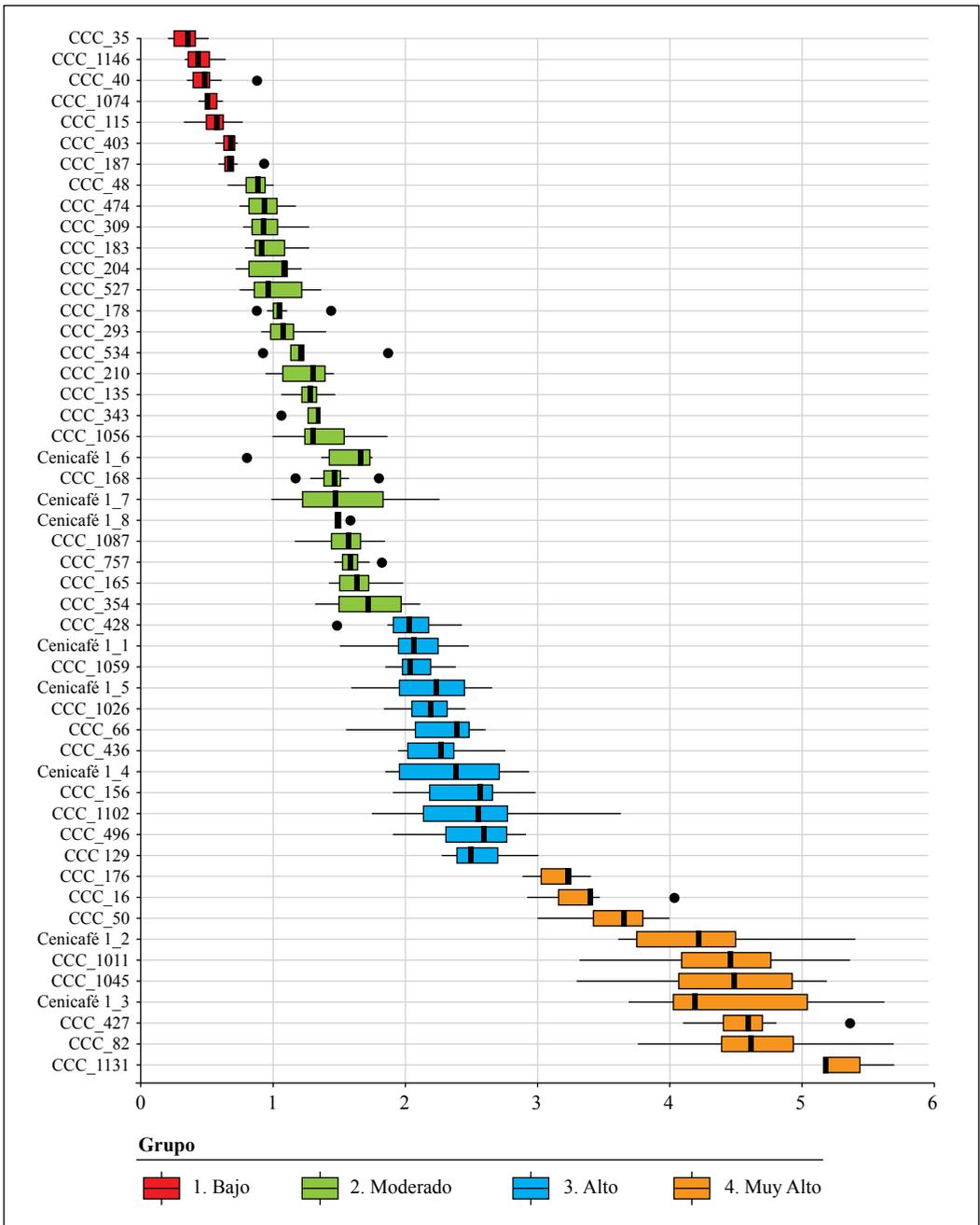


Figura 2. Agrupación de las accesiones y progenies de Cenicafé 1 mediante distribución por cuartil de la variable K_F . Se definieron cuatro grupos que quedaron conformados así: 1. Baja ($K_F \leq 0,96 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 2. Moderada (K_F entre 0,96 y 1,60 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 3. Alta (K_F entre 1,60 y 2,60 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 4. Muy alta ($K_F \geq 2,60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$).

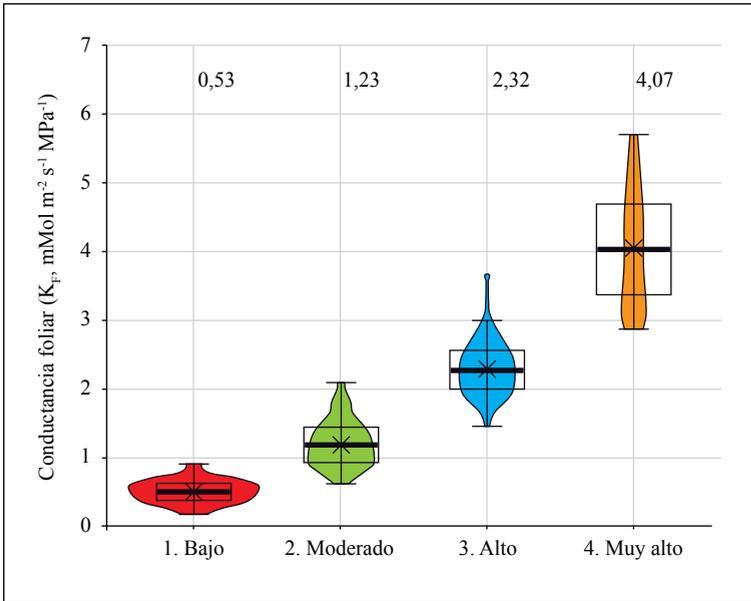


Figura 3. Comparaciones múltiples post hoc entre los grupos de conductancia [1: Bajo ($K_F \leq 0,96 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 2: Moderado (K_F entre 0,96 y 1,60 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 3: Alto (K_F entre 1,60 y 2,60 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$); 4: Muy alto ($K_F \geq 2,60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$)] para las accesiones de la colección núcleo de germoplasma de *Coffea* sp., con base en los promedios de la variable K_F (Df= 3; F= 1631,96, $p \leq 2,0 \text{ e}^{-16}$).

Este grupo de accesiones estarían en orden de prioridad para una posterior evaluación de esta variable fisiológica en futuros programas de mejoramiento genético, orientados a mejorar las restricciones hidráulicas de las hojas del café que limitarían su rendimiento fotosintético y potencial producción de biomasa. Sin embargo, ninguna de las progenies de la variedad Cenicafé 1 quedó clasificada dentro del grupo de conductancia hidráulica baja, solamente dos progenies fueron clasificadas con K_F moderada y el resto de las progenies tuvieron una K_F alta o muy alta, lo cual es muy relevante para el desempeño fotosintético de esta variedad.

En plantas de *C. arabica*, variedad “Catuai” Vermelho IAC44, cultivadas al sol y a la sombra, Martins et al. (2014), usando el método de rehidratación cinética, estimaron que las conductancias foliares eran de $6,9 \pm 0,1$ y $10,9 \pm 1,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$, respectivamente, siendo significativamente inferiores a las conductancias estimadas por Brodrribb et al.

(2005) para otras especies de árboles tropicales, las cuales variaron entre 17,0 y 36,0 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$. Gascó et al. (2004), usando el método de flujo por alta presión, ya habían estimado una baja conductancia foliar de *C. arabica* ($4,2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$) sin especificar variedad o genotipo. Nardini et al. (2014) en plantas de café encontraron una variabilidad en la conductancia foliar de cuatro genotipos de *C. arabica*: Borbón ($4,9 \pm 1,9$), Maragogipe ($3,3 \pm 0,3$), Híbrido F2 ($3,2 \pm 0,8$) y una accesión silvestre ($4,6 \pm 1,4$), siendo la variedad Borbón la de mayor valor de conductancia, utilizando el método de rehidratación cinética. Recientemente, Mauri et al. (2020) identificaron diferencias intraespecíficas cuando midieron la conductancia foliar de *C. racemosa* ($6,14 \pm 1,76$), *C. canephora* cv Conilon ($6,19 \pm 1,76$), *C. arabica* ($6,76 \pm 1,44$), *C. liberica* ($7,00 \pm 1,32$) y *C. canephora* cv Apoatá ($7,67 \pm 2,26$), usando el método de rehidratación cinética.

Wang et al. (2022) han encontrado que los valores de K_F entre especies y aún entre

individuos de la misma especie pueden ser incomparables porque el método de medición escogido y las condiciones experimentales pueden incidir en su cálculo. Recientemente el método del flujo evaporativo es el más usado para medir la K_F porque, a diferencia de otros métodos, mimetiza la transpiración natural de la hoja permitiendo determinar con exactitud el flujo hídrico a través de la lámina foliar. Además, es el método que permite calcular más rápidamente (30 min) la conductancia hidráulica foliar (Lovisolo & Tramontini, 2010; Sack & Scoffoni, 2012). Martins et al. (2019) estimaron una conductancia foliar en promedio de $2,6 \pm 0,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$ para plantas de *C. arabica* de las variedades Catuaí y Catimor, siendo el primer reporte para *Coffea* sp. en utilizar el método de flujo evaporativo.

Wang et al. (2022) concluyeron que la variabilidad de los valores de K_F , encontrada en los diferentes estudios, podrían ser atribuidos a artefactos metodológicos por lo que, con el propósito de compararlos, era importante especificar las condiciones experimentales utilizadas en la medición de la conductancia hidráulica foliar. En el método de flujo evaporativo, el cálculo del potencial de agua y del flujo hídrico foliar son afectados por el muestreo, el almacenamiento previo de las hojas, el tipo de agua usada en la transpiración, la temperatura, la humedad relativa y el tipo de luz incidente sobre la hoja. Estos factores fueron tenidos en cuenta en la determinación de la K_F en las 42 accesiones de *Coffea* sp. así como en las ocho progenies de la variedad Cenicafe 1. Adicionalmente, se minimizaron los posibles episodios de cavitación mediante el manejo agronómico de las plantas que incluyó fertilización edáfica, aplicación de enmiendas, de acuerdo al análisis del suelo, y condiciones agroclimáticas que garantizaron la

suficiente irrigación de las parcelas sembradas a plena exposición solar.

En varias especies vegetales con linajes filogenéticamente definidos, el transporte de agua en las hojas y el intercambio de gases mostraron una diversificación evolutiva fuertemente acoplada, impulsada por cambios en la arquitectura de la venación foliar y modulada por el clima (Sack et al., 2016). Esta validación confirma que los rasgos hidráulicos de las hojas tales como, conductancia hidráulica foliar, conductancia estomática o densidad de venación deben ser considerados explícitamente como variables subyacentes en determinar las diferencias en la tasa fotosintética, y como objetivos para mejorar la productividad de las plantas (Sack et al., 2012; Sack et al., 2016; Scoffoni et al., 2016).

Puede concluirse que el método del flujo evaporativo para calcular la conductancia hidráulica foliar en café es un método rápido, reproducible y que no depende de condiciones ambientales específicas.

La conductancia hidráulica foliar de las 42 accesiones que conforman la colección núcleo de germoplasma del café mostraron una amplia variabilidad fenotípica.

Las accesiones CCC16, CCC50, CCC82, CCC176, CCC427, CCC1011, CCC1045 y CCC1131 fueron clasificadas dentro del grupo conductancia foliar muy alta y estarían en orden de prioridad para una posterior evaluación de su rendimiento fotosintético, tasa de crecimiento y productividad.

Ninguna de las progenies de la Variedad Cenicafe 1 quedó clasificada dentro del grupo de conductancia hidráulica baja.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los auxiliares de la disciplina de Fisiología Vegetal: Marcela Mora, Claudia Valencia, Bibiana Escobar y Mario Franco. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número FIS10813 y la estancia postdoctoral de Cristan Camilo fue financiada por el Ministerio de Ciencias y Tecnología (Contrato N° 80740-044-2021).

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: **RA**; Curación de datos: **RA** y **CU**; Análisis formal: **RA** y **CU**; Adquisición de fondos: **RA**; Investigación: **RA**, **CC**, **NF**; Metodología: **RA**, **CC** y **NF**; Software: **CC** y **CU**; Redacción–borrador original: **RA**, **CC**, **CU** y **NF**; Redacción–revisión y edición: **RA**, **CC**, **CU** y **NF**. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

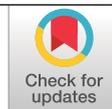
- Brodribb, T. J., Holbrook, N. M., Zwieniecki, M. A., & Palma, B. (2005). Leaf hydraulic capacity in ferns, conifers and angiosperms: Impacts on photosynthetic maxima. *New Phytologist*, *165*(3), 839–846. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01259.x>
- Brodribb, T. J., Feild, T. S., & Jordan, G. J. (2007). Leaf Maximum Photosynthetic Rate and Venation Are Linked by Hydraulics. *Plant Physiology*, *144*(4), 1890–1898. <https://doi.org/10.1104/pp.107.101352>
- Brodribb, T. J., & Buckley, T. N. (2018). Leaf Water Transport: A Core System in the Evolution and Physiology of Photosynthesis. En W. W. Adams III & I. Terashima (Eds.), *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis* (pp. 81–96). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93594-2_4
- Ceulemans, R., & Saugier, B. (1991). Photosynthesis. En A. S. Raghavendra (Ed.), *Physiology of trees* (pp. 21–50). Wiley.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2017). Informe Anual Cenicafé 2017. <https://doi.org/10.38141/10783/2017>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2018). Informe Anual Cenicafé 2018. <https://doi.org/10.38141/10783/2018>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). Informe Anual Cenicafé 2019. <https://doi.org/10.38141/10783/2019>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020). Informe Anual Cenicafé 2020. <https://doi.org/10.38141/10783/2020>
- Meyer, F. G., Fernie, L. M., Narasimhaswamy, R. L., Monaco, L. C., & Greathead, D. J. (1968). *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965*. FAO.
- Franck, N., Vaast, P., Genard, M., & Dauzat, J. (2006). Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea arabica*. *Tree Physiology*, *26*(4), 517–525. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.4.517>
- Gascó, A., Nardini, A., & Salleo, S. (2004). Resistance to water flow through leaves of *Coffea arabica* is dominated by extra-vascular tissues. *Functional Plant Biology*, *31*(12), 1161. <https://doi.org/10.1071/FP04032>
- Guillaumet, J. L., & Hallé, F. (1978). Echantillonnage du matériel *Coffea arabica* récolté en Ethiopie. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Côte d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966- Bulletin IFCC 14* (pp. 13–18). IFCC.
- Kumar, D., & Tieszen, L. L. (1980). Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of Light and Temperature. *Experimental Agriculture*, *16*(1), 13–19. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010656>
- Lovisolo, C., & Tramontini, S. (2010). Methods for Assessment of Hydraulic Conductance and Embolism

- Extent in Grapevine Organs. En S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco, & S. Grando (Eds.), *Methodologies and Results in Grapevine Research* (pp. 71–85). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9283-0_6
- Machado, J. A., Rodrigues, W. P., Baroni, D. F., Pireda, S., Campbell, G., de Souza, G. A. R., Verdin Filho, A. C., Arantes, S. D., de Oliveira Arantes, L., da Cunha, M., Gambetta, G. A., Rakocevic, M., Ramalho, J. C., & Camprotrini, E. (2021). Linking root and stem hydraulic traits to leaf physiological parameters in *Coffea canephora* clones with contrasting drought tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 258–259, 153355. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153355>
- Martins, S. C. V., Galmés, J., Cavatte, P. C., Pereira, L. F., Ventrella, M. C., & DaMatta, F. M. (2014). Understanding the Low Photosynthetic Rates of Sun and Shade Coffee Leaves: Bridging the Gap on the Relative Roles of Hydraulic, Diffusive and Biochemical Constraints to Photosynthesis. *PLOS ONE*, 9(4), e95571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>
- Martins, S. C. V., Sanglard, M. L., Morais, L. E., Menezes-Silva, P. E., Mauri, R., Avila, R. T., Vital, C. E., Cardoso, A. A., & DaMatta, F. M. (2019). How do coffee trees deal with severe natural droughts? An analysis of hydraulic, diffusive and biochemical components at the leaf level. *Trees*, 33(6), 1679–1693. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01889-4>
- Mauri, R., Cardoso, A. A., da Silva, M. M., Oliveira, L. A., Avila, R. T., Martins, S. C. V., & DaMatta, F. M. (2020). Leaf hydraulic properties are decoupled from leaf area across coffee species. *Trees*, 34(6), 1507–1514. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01983-y>
- Mosquera, L.P., Riaño, N. M., Arcila, J., & Ponce, C. A. (1999). Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *Coffea sp.* *Revista Cenicafé*, 50(3), 215–221.
- Nardini, A., Öunapuu-Pikas, E., Savi, T., Nardini, A., Öunapuu-Pikas, E., & Savi, T. (2014). When smaller is better: Leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. *Functional Plant Biology*, 41(9), 972–982. <https://doi.org/10.1071/FP13302>
- R Software Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing (3.6.1.) [Computer software]. <https://www.r-project.org>
- Sack, L., & Scoffoni, C. (2012). Measurement of Leaf Hydraulic Conductance and Stomatal Conductance and Their Responses to Irradiance and Dehydration Using the Evaporative Flux Method (EFM). *Journal of Visualized Experiments*, 70, 4179. <https://doi.org/10.3791/4179>
- Sack, L., Ball, M. C., Brodersen, C., Davis, S. D., Des Marais, D. L., Donovan, L. A., Givnish, T. J., Hacke, U. G., Huxman, T., Jansen, S., Jacobsen, A. L., Johnson, D. M., Koch, G. W., Maurel, C., McCulloh, K. A., McDowell, N. G., McElrone, A., Meinzer, F. C., Melcher, P. J., ... Holbrook, N. M. (2016). Plant hydraulics as a central hub integrating plant and ecosystem function: Meeting report for ‘Emerging Frontiers in Plant Hydraulics’ (Washington, DC, May 2015). *Plant, Cell & Environment*, 39(9), 2085–2094. <https://doi.org/10.1111/pce.12732>
- Scoffoni, C., Chatelet, D. S., Pasquet-kok, J., Rawls, M., Donoghue, M. J., Edwards, E. J., & Sack, L. (2016). Hydraulic basis for the evolution of photosynthetic productivity. *Nature Plants*, 2(6), 1–8. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.72>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Silva, E. A., DaMatta, F. M., Ducatti, C., Regazzi, A. J., & Barros, R. S. (2004). Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, 89(2), 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.010>
- Tatagiba, S. D., Pezzopane, J. E. M., Reis, E. F. (2010). Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Coffee Science*, 5(3), 251–261. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/5413>
- Wang, X., Zhao, J., Huang, J., Peng, S., & Xiong, D. (2022). Evaporative flux method of leaf hydraulic conductance estimation: Sources of uncertainty and reporting format recommendation. *Plant Methods*, 18(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00888-w>
- Wu, T., Tissue, D. T., Li, X., Liu, S., Chu, G., Zhou, G., Li, Y., Zheng, M., Meng, Z., & Liu, J. (2020). Long-term effects of 7-year warming experiment in the field on leaf hydraulic and economic traits of subtropical tree species. *Global Change Biology*, 26(12), 7144–7157. <https://doi.org/10.1111/gcb.15355>
- Xiong, D., & Nadal, M. (2020). Linking water relations and hydraulics with photosynthesis. *The Plant Journal*, 101(4), 800–815. <https://doi.org/10.1111/tpj.14595>
- Zapata, P. C., Andrade, H. J., & Nieto Abril, Z. K. (2017). Comportamiento ecofisiológico del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Castillo en sistemas agroforestales de Tibacuy, Cundinamarca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 61–70. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.63>

EFFECTO DE BOLSAS BIODEGRADABLES EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CAFÉ EN EL ALMÁCIGO

Jhon Félix Trejos Pinzón *, José Raúl Rendón Sáenz **, Bernardo Rivera Sánchez ***

Trejos-Pinzón, J.F., Rendón-Sáenz, J.R., & Rivera-Sánchez, B. (2023). Efecto de bolsas biodegradables en el crecimiento y desarrollo del café en el almácigo. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74204. <https://doi.org/10.38141/10778/74204>



La utilización del plástico en la agricultura genera desechos que se convierten en contaminantes ambientales y visuales. Esta problemática tiene importancia en la mayoría de los sistemas agropecuarios, entre ellos, el sector cafetero, para el cual aún no existe la recomendación de implementar el uso de materiales con propiedades de biodegradación en el almácigo. Con el propósito de estudiar alternativas de bolsas biodegradables, se evaluaron 10 tipos de bolsas en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Chinchiná, Caldas). Durante la etapa de almácigo se determinó la materia seca de las plantas y la resistencia de las bolsas nuevas y usadas al esfuerzo mecánico con el equipo INSTRON. La materia seca evaluada en 30 plantas por tratamiento no mostró diferencias significativas para las variables peso seco de raíz, tallo, hojas y peso total, en las dimensiones de bolsa 13 x 21 cm. Por el contrario, con la dimensión de bolsa 17 x 23 cm se identificaron diferencias entre tratamientos. Las pruebas de resistencia al esfuerzo mecánico de rotura por tracción indicaron que existen bolsas biodegradables con resistencia cercana o superior a los promedios registrados en el testigo de polietileno. Los resultados permiten concluir que no existen diferencias en el crecimiento y desarrollo de las plantas durante la etapa de almácigo entre los diferentes tipos de bolsas utilizados.

Palabras clave: Pruebas de resistencia, materia seca, altura de planta, café, Cenicafé.

THE EFFECT OF BIODEGRADABLE BAGS ON COFFEE GROWTH AND DEVELOPMENT DURING THE SEEDLING STAGE

The use of plastic in agriculture leads to the generation of waste, which poses environmental and visual pollution challenges. This issue is significant across various agricultural systems, including the coffee industry, where there is currently no established recommendation for adopting biodegradable materials during seedling. To explore potential alternatives for biodegradable bags, an evaluation of 10 different bag types was conducted at the Cenicafé Naranjal Experiment Station in Chinchiná, Caldas. During this seedling stage, the dry matter of the plants was measured and the resistance of both new and used bags to mechanical stress was assessed using INSTRON equipment. The analysis of dry matter in 30 plants per treatment did not reveal significant differences in variables such as the dry weight of the root, stem, leaves, and total weight when using bags with dimensions of 13 x 21 cm. However, differences among treatments were identified when using bags sized 17 x 23 cm. Furthermore, the resistance tests for mechanical stress, including traction and breakage, indicated the presence of biodegradable bags with resistance levels close to or even surpassing those observed in the control group using polyethylene bags. These findings suggest that there are no discernible differences in the growth and development of plants during the seedling stage when utilizing different types of bags.

Keywords: Resistance tests, dry matter, plant height, coffee, Cenicafé.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>

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

*** Profesor Titular (Producción Agropecuaria), Universidad de Caldas. <http://orcid.org/0000-0003-1616-5507>



El uso del plástico en la agricultura ha generado, por siglos, desechos que se transforman en contaminación del suelo y el agua. Se estima que cada año en el mundo se consumen cinco billones de bolsas plásticas y que para 2050 habrá una producción de 12.000 toneladas de plástico (UNEP, 2018). De acuerdo al Sistema de Información de Hogares Cafeteros (FNC, 2021), mediante la aplicación de una encuesta a 2.477 productores de café, por muestreo probabilístico representativo de los 545.279 hogares cafeteros, se identificó que el 42% de los hogares realizan la quema de los residuos sólidos generados en sus predios, 22% utilizan el servicio de aseo, 12% los entierran y el 11% respondieron que arrojan al patio, lote o zanja sus residuos sólidos. Así mismo, en el caso de la población cafetera, se encontró que, si bien los hogares no vierten los residuos sólidos a las fuentes hídricas, existe una alta proporción (42%) que los eliminan principalmente mediante quemas, lo cual se explica por la baja cobertura de los servicios de recolección de basura en las zonas cafeteras (22%) (FNC, 2021). Con base en el escenario anterior, Colombia inició la legislación para la disminución sistemática del uso de plásticos. La Ley 2232 de 2022 establece la prohibición en el territorio nacional, a partir del año 2030, la fabricación, importación, venta y distribución de plásticos de un solo uso, así como disposiciones que permiten su sustitución y cierre de ciclos, para controlar la contaminación y proteger el medio ambiente y la salud de los seres vivos (Congreso de la República, 2022).

En los sistemas de producción de café, la obtención de plántulas para la renovación por siembra requiere contenedores que permitan buenas condiciones de desarrollo, hasta el momento de realizar el trasplante definitivo en el campo (FNC, 2013). El proceso de producción de almácigos inicia una vez las chapolas, provenientes del proceso de germinador, han

alcanzado el estado de trasplante (+/- 75 días). El crecimiento y desarrollo normal de la raíz del colino de café está limitado por el tamaño de la bolsa. Según Gaitán et al. (2011) se recomienda utilizar bolsas de 17 cm de ancho por 23 cm de alto, con capacidad para 2,0 kg de sustrato, dado que permiten mantener en buen estado los colinos hasta por seis meses, sin que la raíz se salga de la bolsa. Cuando se utilizan bolsas de menor tamaño (13 x 17 cm o 13 x 21 cm, con capacidad de 1,0 a 1,5 kg), solo permiten un adecuado crecimiento de la raíz durante los primeros cuatro a cinco meses.

Distintos estudios han sido realizados para la identificación de alternativas al uso tradicional de polietileno. Sandoval (2014) realizó pruebas de biodegradación en bolsas oxobiodegradables, utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario. Los hallazgos de la investigación permitieron identificar que el aditivo pro-oxidante que se incorpora en las bolsas produce una fragmentación acelerada del producto cuando actúan cantidades de radiación UV, calor y/o esfuerzos mecánicos suficientes, demostrando que en las muestras existió esta etapa de degradación llegando a la pérdida de sus propiedades. La cuantificación de la degradación de las bolsas oxobiodegradables fue realizada a través de la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y espectroscópicas, con lo cual se comprobó que las muestras sometidas a experimentación presentaron un inicio de degradación donde existió disminución en el peso molecular, espesor y resistencia a la tracción y formación de grupos carbonilos por oxidación.

En el análisis de la degradación, desintegración y biodegradabilidad de las bolsas de poliéster y almidón en compostaje

de residuos urbanos, a escala de laboratorio industrial, se encontró que las bolsas de poliéster con base de almidón, certificadas según la norma: UNE EN 13432:2001, alcanzaron el 94,3% de desintegración en la etapa de compostaje de fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) con pila volteada; y el 86,3% en la planta de compostaje FORSU con túnel estático, sin diferencias significativas entre técnicas de compostaje (Fernando de Fuentes, 2015).

El método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos está diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales plásticos (ASMT D638 – 14). Son varias las propiedades de materiales que pueden ser determinadas a partir de la medición de la fuerza necesaria para colocar una muestra del ensayo hasta llegar a su punto de ruptura (D20 Committe, 2020). Granda y Ramos (2019) realizaron un estudio sobre la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) a diferentes porcentajes de plastificante (glicerina), determinando que la resistencia mecánica y la deformación en tracción de bioplásticos para el 12,0% de glicerina alcanza una resistencia a la tracción de 0,17 Mega pascal (Mpa), con un porcentaje de deformación de 13,3%. Así mismo, se identificó que la resistencia mecánica y deformación en tracción de bioplásticos obtenidos a diferentes niveles de porcentaje en peso de glicerina, siendo la máxima de 2,57 MPa para un 3,0% de glicerina y la mínima de 0,17 MPa para el 12,0% del mismo. En cuanto a deformación, se alcanzó a 44,7% de deformación al 3,0% de glicerina y a 13,3% a un 12,0% de glicerina (Granda y Ramos, 2019).

Archila y Figueroa (2017) refieren ensayos de compresión y flexión realizados en

materiales plásticos reciclados, evidenciando un comportamiento elásticamente alto, asociado como un material dúctil, permitiendo llegar a una gran deformación sin fracturarse, dando tiempo para percibir las deformaciones que en él se presentan, con valores de resistencia de 8,9 y 13,0 MPa, respectivamente. El plástico reciclado es un material viscoelástico, cuyas propiedades mecánicas dependen de la temperatura, del tiempo y están sujetas a deformaciones permanentes (fluencia) bajo cargas continuas. Los autores concluyen que este tipo de plásticos, usados como contenedores de suelo y otros materiales, puede ser una opción viable, si no presentan cargas fuertes continuas.

Toala y Sarmiento (2019) reportan el aprovechamiento de los residuos del café y maíz para la elaboración de bolsas biodegradables. El tratamiento compuesto de 85% *Zea mays* (maíz) y 15% *Coffea arabica* (café), con solubilidad de 16%, presentó una biodegradación mayor a 70% en seis semanas de monitoreo, con elongación de 28,0% y resistencia de 0,66 MPa. No obstante, no cumple los requisitos físicos (elongación y tracción) que estipula la norma INEN 2290 2015-12 de fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. De otra parte, Yamunaqué et al. (2018) diseñaron un sistema para la obtención de bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca, como estrategia para promover una conciencia verde, amigable con el medio ambiente. Lleras y Moreno (2001) evaluaron en condiciones de almacigo y de campo, materiales biodegradables para la fabricación de bolsas de almácigos de café, los resultados indican que esta práctica es inviable económicamente para los caficultores; las estructuras fabricadas con cartón podrían resistir en promedio ocho meses, mientras que las fabricadas con tela de orlón resistirán hasta 10 meses. Para las variables peso fresco, seco y altura de la planta, no hubo diferencias al final del proceso.

En la Tabla 1 se presentan las características de los materiales de fabricación de los diferentes tipos de bolsas con potencial para ser utilizadas en la elaboración de almácigos, con información suministrada por las industrias fabricantes.

Es evidente que las bolsas plásticas derivadas del petróleo producen contaminación en las fincas cafeteras y no existe recomendación de nuevos materiales de bolsas biodegradables como alternativa para su uso en etapa de almácigo y siembra en el campo, que puedan sustituir las actuales. El propósito de la presente contribución es evaluar el efecto del uso de distintas alternativas de bolsas biodegradables en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café durante la etapa de almácigo, con el fin de reducir los impactos ambientales negativos del uso de bolsas de polietileno.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas, Colombia) a 04°58' latitud N, 75°39' longitud W y 1.381 m de altitud, con una temperatura promedio de 21,7 °C, humedad relativa de 85% y una precipitación anual promedio de 2.656 mm. El nivel de esta investigación fue explicativo, utilizando el diseño de investigación experimental en una vía, con la que se aborda el fenómeno de estudio (exploratoria, descriptiva o explicativa).

Se evaluaron 10 tratamientos: seis tipos de bolsas con componente biodegradable, dos tipos de bolsas oxobiodegradables y dos bolsas testigos de polietileno de baja densidad (Tablas 1 y 2). Cada tratamiento

Tabla 1. Características de las bolsas con potencial para ser utilizadas en la elaboración de almácigos.

Almidón de yuca (Natpacking, 2022)	Ácido poliláctico (Plastipack, 2022)	PE reciclado con acelerante de biodegradación enzimática (Plastisol, 2022)	Biopolímero compostable (BASF, 2022)	Oxobiodegradable-D2W (Plastipack, 2022)	Polietileno de baja densidad
Degradación en 180 días	Resina 100% biodegradable	Elaborada con 100% plástico reciclado	Contiene un polímero compostable certificado	Contiene aditivo D2W para controlar la vida útil del plástico (dos a cinco años)	Obtenido a partir de la polimerización de etileno iniciada por radicales libres.
100% naturales	No absorbe olores	Aditivo biodegradable BioSphere	Aditivo Ecovio	Devuelve el carbono al ecosistema	Producir 1,0 kg de plástico requiere: 1,8 kg de petróleo, 412 L de agua, 3,5 kg CO ₂ emitidos
Hidrosolubles (80°C)	Puede ser desechado en orgánico	Biodegradación entre uno y cinco años	Resistente al estrés mecánico y humedad	Autodestrucción sin riesgo	
Libres de plástico	No agota recursos naturales		Biodegradable en compostajes	La degradación inicia a los 24 meses	
No tóxicas al consumo por animales					

(tipo de bolsa) estuvo conformado por 500 unidades experimentales (UE). La unidad experimental correspondió a una plántula de café variedad Castillo® sembrada en la respectiva bolsa. Las plántulas de las unidades experimentales correspondientes a los tratamientos del grupo-dimensión 2, se sembraron en octubre de 2019 y las correspondientes al grupo-dimensión 1 en noviembre de 2019, para garantizar la edad adecuada de siembra en el campo. El grupo – dimensión hace referencia al tamaño y la capacidad de las bolsas para contener un volumen de sustrato, con medidas de ancho y largo en centímetros. Para el llenado de las bolsas se utilizó una mezcla de suelo y abono orgánico (pulpa descompuesta) en relación 9:1 para todos los tratamientos. El manejo agronómico de las poblaciones en etapa de almácigo se realizó siguiendo las recomendaciones de Cenicafé.

En el primer muestreo (tiempo cero) se tomaron 20 bolsas nuevas de cada tratamiento y en el segundo muestreo, a los cinco y seis meses después de la siembra de las chapolas, cuando finalizó la etapa de almácigo, se seleccionaron de manera aleatoria 20 plantas para la evaluación de las bolsas. Para ello, se realizaron pruebas de resistencia a esfuerzo mecánico de rotura por tracción, correspondientes a los estándares ASTM 638 – 14 y la resistencia de los materiales a la fuerza estática o aplicada lentamente a través del equipo Instron. Las variables analizadas fueron: fuerza máxima de tracción (N), desplazamiento a la fuerza máxima (mm), tenacidad a la ruptura (N/tex) y módulo de Young o de elasticidad (Mpa). Se utilizaron probetas de dimensiones normalizadas, a partir de las placas de 19 mm de espesor y 115 mm de largo (rectangular), según las dimensiones recogidas en la norma ASTM D638 – 14 (D20 Committee, 2020).

Tabla 2. Materiales, descripción, tratamientos y dimensiones de las bolsas utilizadas en el almácigo de café.

Material de fabricación de la bolsa	Grupo	Dimensiones	Tratamiento
Almidón de yuca	1	13 x 21 cm	1
Resina de ácido poliláctico		13 x 21 cm	2
Polietileno/testigo		13 x 21 cm	3
Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática		13 x 21 cm	5
Biopolímero compostable		15,5 x 21 cm	6
Biopolímero compostable		12,5 x 20,5 cm	10
Oxobiodegradable–D2W 2 al 3% baja densidad	2	17 x 23 cm	7
Oxobiodegradable–D2W 1 al 2% baja densidad		17 x 23 cm	8
Almidón de yuca		17 x 23 cm	9
Polietileno/testigo		17 x 23 cm	11

La propiedad mecánica resistencia a la tracción determina la aptitud o capacidad para resistir las fuerzas externas de un material plástico. Para la evaluación se registraron los tiempos: sin uso (nuevas) o con uso a los cuatro, cinco y seis meses después del establecimiento del almácigo (usadas), sometiendo las bolsas a la fuerza por tracción a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta producir la rotura, en el equipo Instron (ATSM D368 – 14). En esta prueba se midió la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos, en la medida que se incrementa la carga o fuerza aplicada (INSTRON, 2022).

Para cada muestreo y tratamiento se obtuvo el promedio y error estándar de las variables de interés. Para cada fecha de muestreo se realizó el análisis de varianza con cada una de las variables y para aquellas que indicaron efecto de tratamientos, se aplicó prueba de Dunnett al 5% para determinar las diferencias del peso seco total de las plantas de almácigo con respecto a los tratamientos 3 y 11 (bolsas de polietileno).

En la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas, de cada tratamiento se seleccionaron 30 plantas al finalizar la etapa de almácigo y se determinó: la altura de plantas desde la base del tallo hasta el ápice (cm), la materia seca de la raíz (g), materia seca de las hojas (g) y la materia seca total de la planta (g). Para cada tratamiento y variable de respuesta se estimó el promedio con su respectivo intervalo, con un coeficiente de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de resistencia de las bolsas en la etapa de almácigo

Según los resultados que se presentan en la Figura 1, mientras el testigo de polietileno

registró valores de 14,2 N en bolsas nuevas y 11,5 N en bolsas usadas, el tratamiento 1 (almidón de yuca) empleó una fuerza de 13,8 y 13,7 N hasta sufrir deformaciones, en bolsas nuevas y usadas, respectivamente (Figura 1). Así mismo, el tratamiento 6 (biopolímero compostable) presentó valores de 5,7 y 3,5 N, en bolsas nuevas y usadas, respectivamente.

En la Figura 1, salvo en el tratamiento 9 (almidón de yuca), los valores iniciales (nueva) son superiores a los valores en las bolsas después de ser usadas. Estos resultados son un indicador del proceso de deterioro y degradación sufrida por los diferentes materiales con algún tipo de biodegradación, una vez fueron sometidos a condiciones abióticas como: radiación solar, humedad, suelo, agua y otros factores bióticos como los microorganismos presentes en el suelo, fertilizantes y las arvenses. En este sentido, las mayores diferencias se presentan en las bolsas fabricadas con ácido poliláctico (tratamiento 2), cuyos valores de esfuerzo de tracción en bolsas nuevas fueron de 15 N, mientras que en las bolsas evaluadas luego del proceso de almácigo fueron de 4 N.

En el caso de las bolsas de polietileno (testigo), se registraron valores de desplazamiento a la fuerza máxima en bolsa nueva de 197 mm hasta su ruptura y pasados los seis meses, en almácigo, su alargamiento fue de 226 mm, en promedio (Figura 2). En el tratamiento 2 (resina de ácido poliláctico), la ruptura del material ocurrió a los 321 mm con la bolsa nueva, en tanto que la bolsa proveniente de almácigos de seis meses se alargó solamente 5 mm hasta su ruptura, indicando su alto valor de degradación.

La tenacidad a la fractura en forma indirecta, a partir de la energía absorbida por la rotura de las probetas, permitió identificar

que los diferentes materiales presentaron disminución en sus valores promedios entre bolsas nuevas y usadas. Las mayores diferencias para esta variable fueron registradas en los tratamientos 2 y 10 (Figura 3).

Selke et al. (2015) evaluaron el efecto de los aditivos que promueven la biodegradación sobre el polietileno (PE) y polietileno tereftalato (PET), utilizando compost, digestión anaeróbica y entierro en el suelo. No se

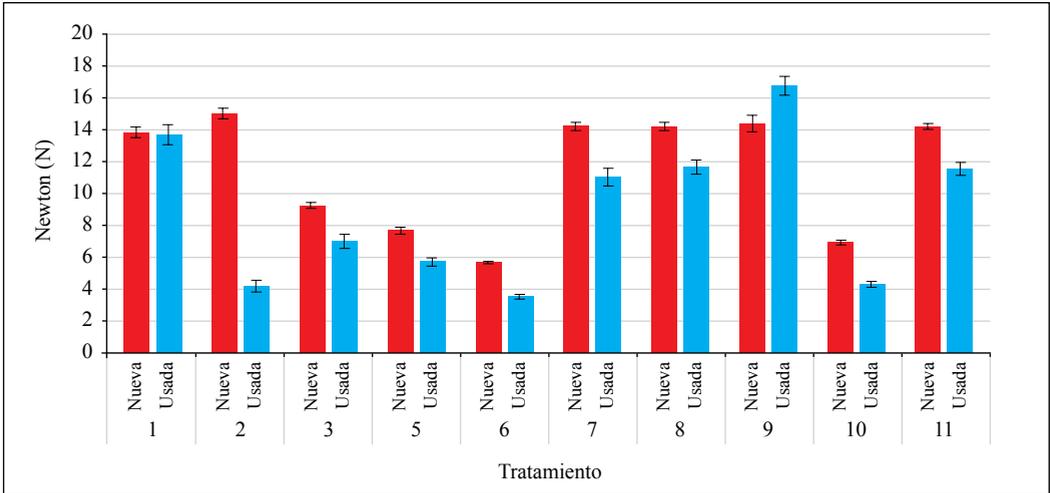


Figura 1. Fuerza máxima de tracción (Newton) empleada en bolsas nuevas y usadas.

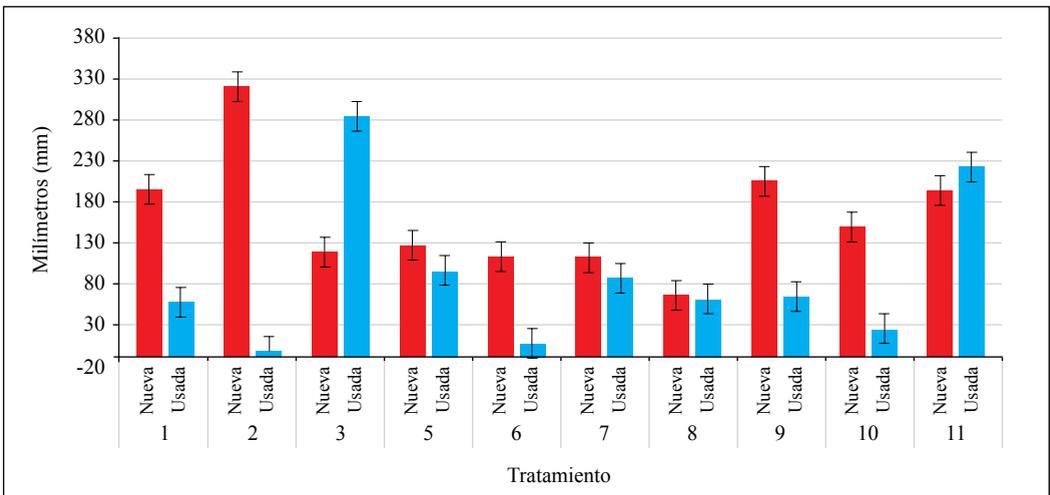


Figura 2. Desplazamiento a la fuerza máxima en bolsas nuevas y usadas (mm).

encontró evidencia de que estos aditivos promueven y/o mejoran la biodegradación de polímeros PE o PET. El hallazgo proporciona evidencia que la biodegradación anaeróbica y aeróbica no son recomendadas como rutas viables de eliminación de plásticos que contengan alguno de los promotores de la biodegradación aditivos (Selke et al., 2015). En esta investigación y mediante la tenacidad a la ruptura, se evidencia que las bolsas que contienen aditivos de biodegradación, tratamientos 5, 6 y 10, pueden incorporarse en procesos de biodegradación en compostaje industrializado (Figura 3).

El valor del módulo de Young o módulo de elasticidad indica la resistencia de los materiales a una extensión longitudinal reversible y constituye un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo una carga determinada. Todos los tratamientos, excepto el tratamiento 9 (almidón de yuca), presentaron valores promedios por encima de lo esperado en un polietileno de baja densidad (7 MPa). La resistencia que determina la norma ATSM D368 – 14 para plásticos está entre 14 y 140 MPa (D20 Committee, 2020).

El tratamiento 1 de almidón de yuca, tuvo valores opuestos y diferencias en los valores del módulo de elasticidad para las bolsas nuevas y usadas, pasando de 4 MPa a 9 MPa en promedio. Esto significa que, al aplicar un esfuerzo igual en ambos tiempos, la deformación es mayor en el material nuevo. Este tipo de material fabricado en almidón de yuca, al finalizar el proceso de almácigo y una vez el material fue extraído para la muestra y realización de la probeta, sufrió un proceso de endurecimiento o cristalización del material, aportando resistencia al momento de aplicar las fuerzas.

Los resultados de la Figura 4 son contrastantes con los reportados por Castellón et al. (2016), quienes determinaron para la resistencia a la tensión, antes y después de seis semanas de sometimiento a la degradación, un valor inicial menor en las bolsas degradables (23,4 MPa) comparado con el valor de las bolsas convencionales de polietileno (31,7 MPa). Esta es una de las principales desventajas de los materiales biodegradables, debido a que pierden versatilidad en sus aplicaciones. La resistencia a la tensión al cabo de seis semanas de exposición al ambiente fue 8,1 MPa para las bolsas degradables, disminuyendo en un 65%, y de 13,7 MPa para las bolsas convencionales, disminuyendo un 57% respecto al valor inicial.

Efecto sobre la altura de la planta en etapa de almácigo

El crecimiento de la planta con los diferentes tipos de bolsas, dimensiones y material de fabricación para la variable altura se presenta en la Figura 5. En el caso del tratamiento 9, en la dimensión de bolsa 2, se presentaron diferencias significativas, con un menor valor de altura de la planta en comparación con los demás tratamientos. Así mismo, para la dimensión de bolsa 2, el tratamiento 9 (almidón de yuca), presentó diferencias significativas con menor altura de la planta. Estudios realizados por Salazar (1991) presentan alturas promedio de 20 cm ($\pm 2,45$ cm) en plantas de café en etapa de almácigo, con 4 meses de edad, utilizando bolsas de dimensiones 17 cm x 23 cm. Estos resultados se aproximan a los reportados en esta investigación y confirman condiciones favorables para el crecimiento de las plantas en la mayoría de las bolsas evaluadas.

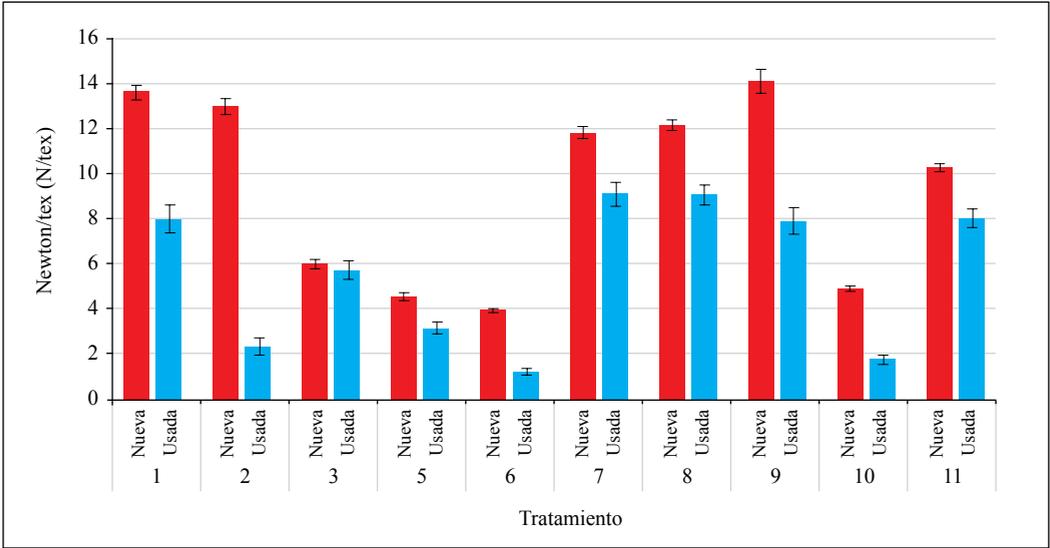


Figura 3. Tenacidad a la ruptura en bolsas nuevas y usadas (Newton/tex).

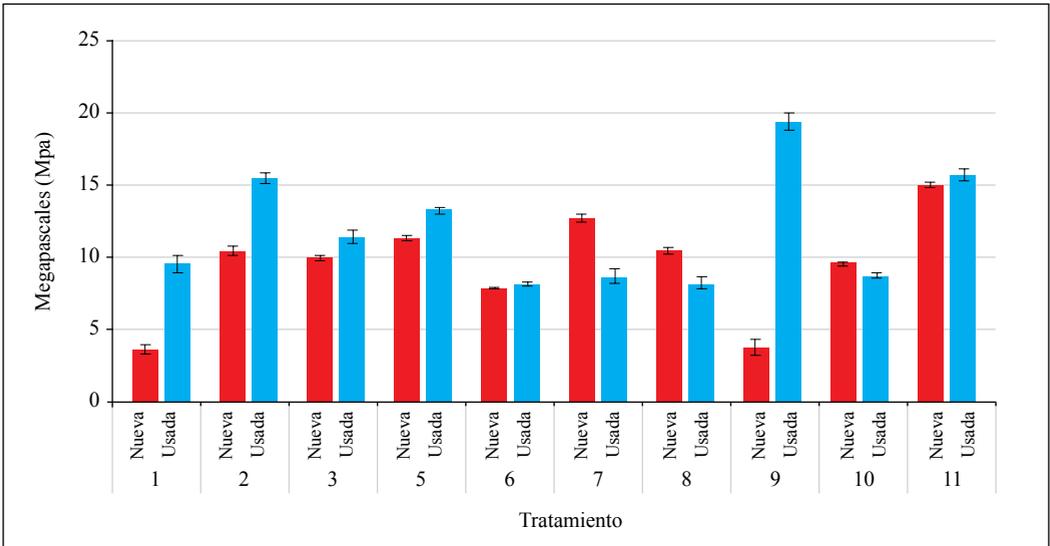


Figura 4. Valores del módulo de Young (módulo de elasticidad) para cada uno de los tratamientos (MPa).

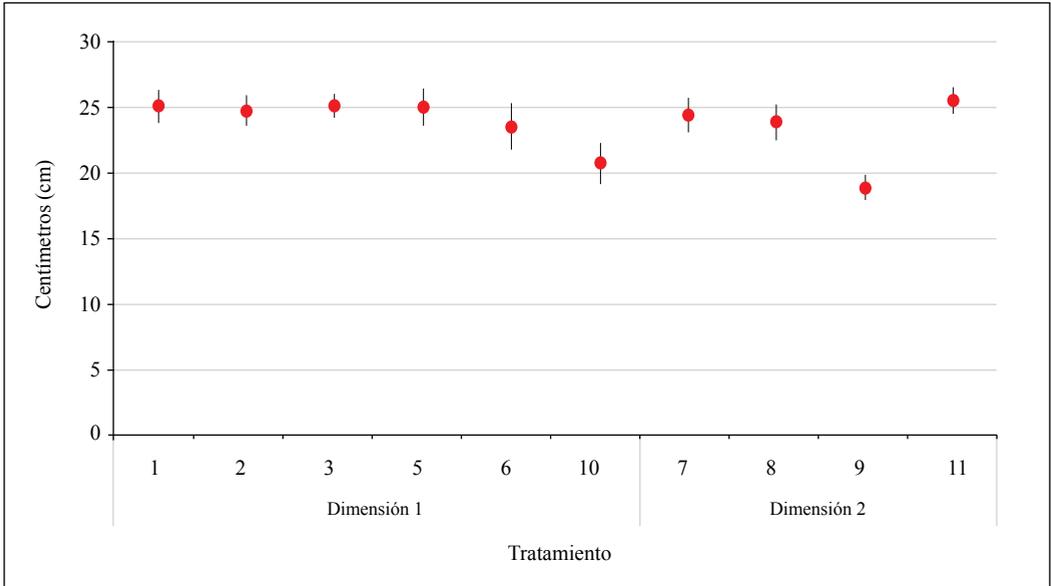


Figura 5. Promedio e intervalo de confianza para la variable altura de la planta (cm) y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.

Efecto sobre la materia seca de la raíz en etapa de almácigo

Las curvas de crecimiento de la planta de café en almácigo han mostrado un crecimiento proporcional entre el sistema de raíces y el desarrollo de la parte aérea. La comparación de los tratamientos mostró que: el peso seco de las raíces a los seis meses de almácigo en los tratamientos 2 y 10 expresaron diferencias significativas con relación al tratamiento testigo 3 en la dimensión 1 y el tratamiento 9, con relación al testigo 11 en la dimensión 2 (Figura 6).

El tratamiento 2 correspondiente con las bolsas de ácido poliláctico y el tratamiento 9 de bolsas provenientes de almidón de yuca, presentaron un promedio de 0,62 y 0,39 g de peso seco, respectivamente, y sus valores están relacionados con las bolsas que sufrieron un deterioro marcado

en el transcurso de la etapa de almácigo (Figura 7).

En este sentido Ávila et al. (2010) registraron en promedio, un peso seco de raíces de 0,8 g en respuesta a la aplicación de 2,0 g del fertilizante DAP (fosfato diamónico). Actualmente, en la etapa de almácigo se recomienda la aplicación de 2,0 g de DAP a los dos y cuatro meses después de la siembra de la chapola (Gaitán et al., 2011). En este orden de ideas y de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, las bolsas de los tratamientos 5 y 6, polietileno con acelerante de biodegradación enzimática y polietileno de más de un uso con componente biodegradable, presentaron valores promedios de peso seco de las raíces de 0,8 g, similares a los reportados por Ávila et al. (2010). En los tratamientos con bolsas oxobiodegradables (17 cm x 23 cm) y polietileno de baja densidad (Testigo 17 cm x 23 cm) el peso seco de la raíz fue superior a 1,2 g/planta.

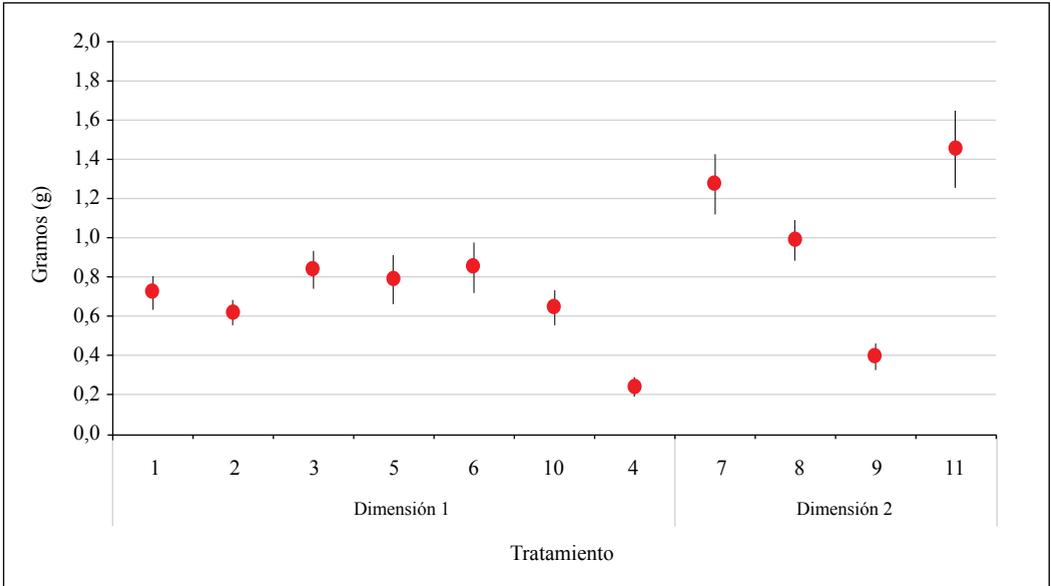


Figura 6. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de la raíz (g) y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.



Figura 7. Bolsa de ácido poliláctico (T2) y bolsa de almidón de yuca (T9).

Efecto sobre la materia seca de las hojas de la planta en etapa de almácigo

De cada nudo formado en el tallo se desarrollan dos hojas laterales durante la etapa de almácigo. En los primeros tres a cuatro nudos de una planta joven (almácigo) sólo brotan hojas, a partir de este, comienza a emitir ramas laterales originadas de yemas que se forman en las axilas superiores de las hojas (Arcila et al., 2001).

En el caso del peso seco de las hojas, los tratamientos de las bolsas pertenecientes a las dimensiones de 17 cm x 23 cm, mostraron diferencias significativas para el tratamiento 11, con 2,89 g, frente a los demás tratamientos (Figura 8).

Efecto sobre la materia seca total de la planta en etapa de almácigo

Los resultados de materia seca de 30 plantas por tratamiento indicaron que no existen diferencias significativas para las variables peso seco de raíz, tallo, hojas y peso total de las plantas en las bolsas de la dimensión 1 (13 cm x 21 cm) en los tratamientos 1, 2, 3, 5, y 6. Para el caso de la dimensión 2 (17 cm x 23 cm) se obtuvieron diferencias entre el tratamiento 9 (almidón de yuca) con relación al testigo (tratamiento 11) y entre los tratamientos 7 y 8. De las bolsas evaluadas en la dimensión uno, el tratamiento de las bolsas de biopolímeros compostables (10) fue menor con respecto al tratamiento de polietileno de baja densidad (3) según prueba de Dunnett.

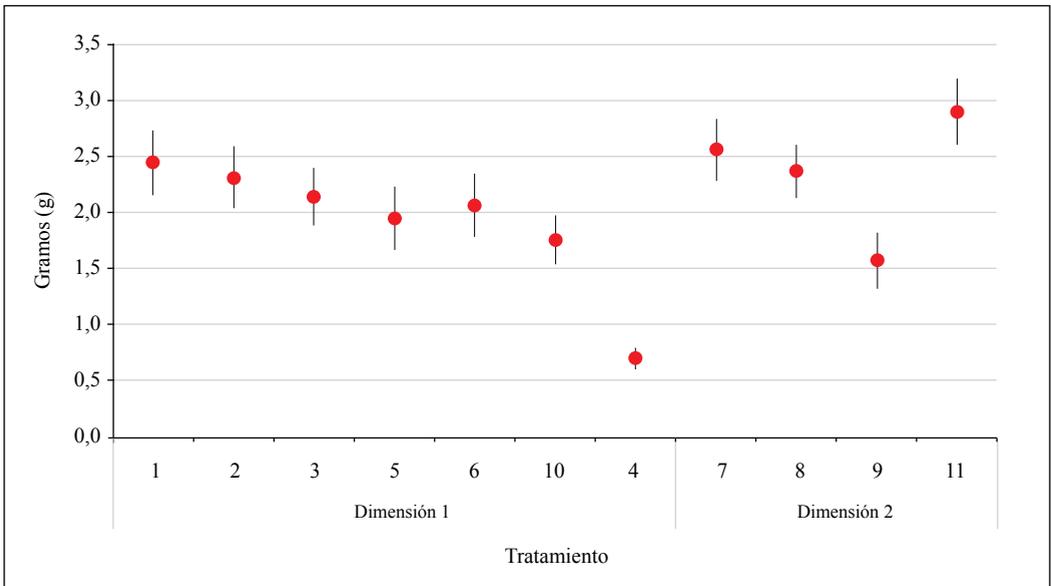


Figura 8. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco de las hojas de la planta y el efecto de la bolsa en etapa de almácigo.

Para las bolsas de la dimensión 2, todos los valores promedios fueron inferiores a las bolsas testigos de polietileno de baja densidad (11), según prueba de Dunnett (Figura 9).

Puede concluirse que, la evaluación de los diferentes tipos de bolsas mediante las pruebas de resistencia o tracción, permitieron identificar que, los materiales de bolsas con algún tipo de biodegradación y con potencial de uso para el proceso de almácigo, deberán resistir al menos 6,0 N de fuerza, mediante la aplicación de la metodología expuesta en la ASTM DS 168, y para la variable alargamiento entre los 80 y 100 mm (D20 Committee, 2020). De otro lado, el módulo de Young debe registrar valores superiores a los 5,0 MPa, para que la relación entre la tensión y la deformación en la zona de comportamiento proporcional sea un referente de la resistencia de las bolsas en la etapa de almácigo.

Con la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas de café utilizando los diferentes tipos de bolsas en la etapa de almácigo, se presentaron diferencias significativas para los tratamientos 2, 9 y 10, con menores promedios en las variables peso seco de las hojas, tallo, raíz y peso seco total de la planta. Considerando estos resultados, para la etapa de almácigo se tienen como opciones los tipos de bolsa: oxobiodegradable, polietileno reciclado con acelerante de degradación y biopolímero compostable, cuya destinación final sean compostajes industrializados.

En el caso de las bolsas de almidón de yuca tratamiento 1, dimensión 1, (13 x 21 cm) puede usarse en etapa de almácigo, y su descomposición puede realizarse bajo condiciones de compostaje de la finca o en el mismo lote, gracias a su composición 100% degradable bajo condiciones naturales.

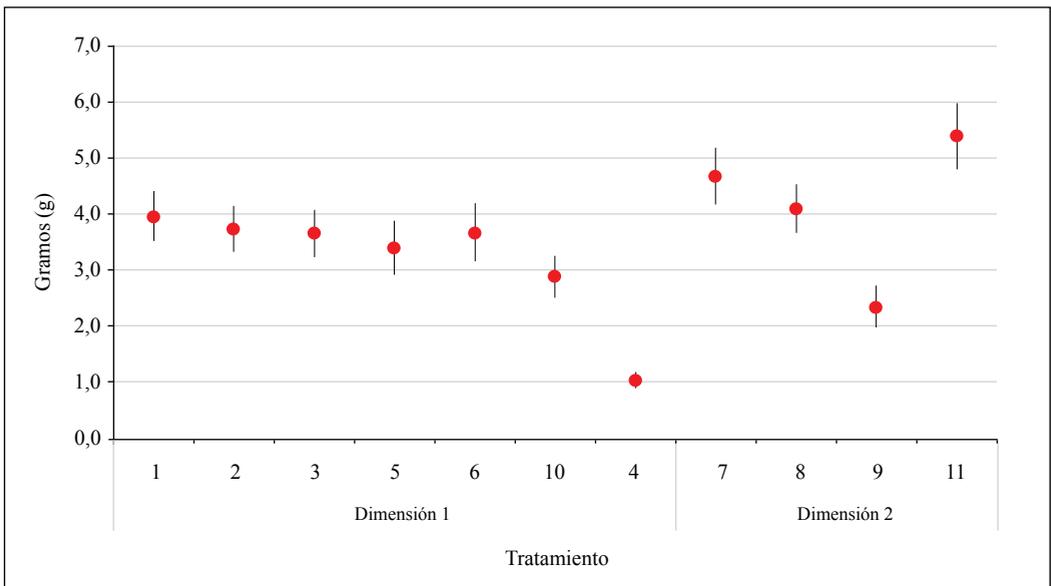


Figura 9. Promedio e intervalo de confianza para la variable peso seco total de las plantas (g) en etapa de almácigo.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Cafeteros y al personal del Centro Nacional de Investigaciones de Café por brindar todos los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación en la Estación Experimental Naranjal. A Rubén Darío Medina por el apoyo en los análisis estadísticos. Al Ingeniero Álvaro Guerrero por sus aportes en el uso del equipo INSTRON de la Disciplina de Poscosecha. Al Personal de la Estación Experimental por el apoyo en la toma de datos y registro de la información. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones

de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número FIT101004.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Visualización, Redacción-borrador original: **JF**; Análisis formal, Metodología, Validación: **JF**, **JR** y **BR**; Administración de proyecto, Redacción-revisión y edición: **JF** y **JR** y **BR**; Adquisición de fondos: **JF**; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

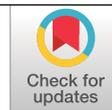
- Archila, D. J., & Figueroa, G. C. (2017). *Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado* [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. <http://hdl.handle.net/11396/5517>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la “Escala BBCH ampliada” para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (*Coffea sp.*). *Boletín Técnico Cenicafé*, 23, 1–32. <http://hdl.handle.net/10778/578>
- Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P., & Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Revista Cenicafé*, 61(4), 358–369. <http://hdl.handle.net/10778/509>
- BASF. (s/f). Ecovio® (PBAT, PLA) – Polímero compostable certificado con contenido de base biológica. Recuperado el 15 de junio de 2022, de https://plastics-rubber.basf.com/southamerica/es/performance_polymers/products/ecovio.html
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *Ley 2232 de 2022 por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30044415#>
- D20 Committee. (2022). *ASTM D6866-22 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6866-22>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2013). *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0026>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). Caracterización ambiental del sector cafetero en Colombia. *Ensayos de Economía Cafetera*, 34(1), 051–073. <https://doi.org/10.38141/10788/034-1-4>
- Fernando de Fuentes, A. (2015). *Análisis de la degradación, desintegración y biodegradabilidad de bolsas de poliéster y almidón en compostaje de residuos urbanos: Escalas de laboratorio e industrial* [Tesis de Doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. <https://oa.upm.es/39321/>
- Gaitán, A., Villegas, C., Rivillas-Osorio, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>
- Granda, J. J., & Ramos, Y. M. (2019). *Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de Solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13393>

- Illinois Tool Works Inc. (2022). Out of Production 5900 Series Universal Testing Systems. <https://www.instron.com/es-ar/products/testing-systems/universal-testing-systems/low-force-universal-testing-systems/5900-series?region=South%20America&lang=es-AR>
- Lleras-Díaz, S., & Moreno-Berrocal, A. M. (2001). Desarrollo y evaluación de bolsas biodegradables para almáccigos de café. *Revista Cenicafé*, 52(1), 20–28. <http://hdl.handle.net/10778/766>
- Natpacking. (2022, marzo 22). Bolsa Semillero o Chapola Agrícola Natpacking®. Natpacking—Biodegradable por naturaleza y Orgullosamente colombiano. <https://natpacking.com/producto/bolsa-para-semillero-o-chapola-agricola-natpacking/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018). *El estado de los plásticos. Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018*. UNEP. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/25513>
- Plastipack. (2022). Aditivos Oxo-Biodegradables. Materiales. <https://plastipacksa.com/materiales/aditivos/>
- Plastisol. (2022). Polietileno reciclado con acelerante de biodegradación enzimática <http://www.plastisol.com.co/productos.php>
- Salazar Arias, J. N. (1991). Efecto del tamaño de bolsa sobre el desarrollo de colinos de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 170, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/945>
- Sandoval, M. I. (2014). *Estudio de la biodegradación de bolsas oxo—Biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7144>
- Selke, S., Auras, R., Nguyen, T. A., Castro Aguirre, E., Cheruvathur, R., & Liu, Y. (2015). Evaluation of Biodegradation-Promoting Additives for Plastics. *Environmental Science & Technology*, 49(6), 3769–3777. <https://doi.org/10.1021/es504258u>
- Toala Loor, M. F., & Sarmiento García, V. V. (2019). *Aprovechamiento de los residuos de café (Coffea arabica) y maíz (Zea mays) para la elaboración de bolsas biodegradables, ESPAM MFL* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1194>
- Yamunaqué, K. S., Farfán, M., Maza, J. C., Navarro, E. J., & Saavedra, O. A. (2019). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polimeros del Norte S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/3830>

INOCUIDAD DEL CAFÉ DURANTE LA INTERRUPCIÓN DEL SECADO MECÁNICO

Jenny Paola Pabón Usaquéñ *, Valentina Osorio Pérez **, Claudia Patricia Gallego Agudelo 

Pabón, J., Osorio, V., & Gallego, C. P. (2023). Inocuidad del café durante la interrupción del secado mecánico. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74205. <https://doi.org/10.38141/10778/74205>



En el procesamiento del fruto de café, en la etapa de secado se disminuye el contenido de agua y de esta manera se afecta el crecimiento de hongos toxigénicos. Para evaluar la inocuidad del café cuando se realizan interrupciones durante el secado mecánico, se aplicó un diseño factorial $2 \times 4 + 1$, con dos tiempos de secado inicial (6 y 12 horas), con cuatro tiempos de interrupción (12, 24, 36 y 48 horas) y un testigo con secado mecánico sin interrupción. Se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y levaduras, contenido de humedad y actividad del agua del café húmedo antes y después de la interrupción y al finalizar el secado. Se determinó la concentración de ocratoxina A y los compuestos químicos con la técnica NIRS en los granos de café de cada tratamiento. Según el ANAVA, el contenido de humedad del café con tiempo de secado inicial de 12 horas fue menor significativamente al secado de 6 horas con valores de 42,29% y 47,49%, respectivamente. El contenido de hongos y levaduras fue mayor en el café húmedo sometido a interrupción ($4,14 \times 10^6$ UFC/g) que en el café pergamino seco ($8,19 \times 10^3$ UFC/g). Los valores de ocratoxina A no presentaron efecto de tratamientos.

Palabras clave: Hongos, levaduras, secado mecánico, ocratoxina A, actividad de agua, café verde, Cenicafé, Colombia.

ASSESSING THE SAFETY OF COFFEE DURING MECHANICAL DRYING INTERRUPTIONS

In coffee fruit processing, the drying stage plays a pivotal role in reducing water content and mitigating the growth of toxigenic fungi. This study aims to evaluate the safety of coffee when interruptions occur during mechanical drying. This study used a $2 \times 4 + 1$ factorial design, incorporating two initial drying times (6 and 12 hours), four interruption intervals (12, 24, 36 and 48 hours) and a control group with continuous mechanical drying. Key parameters such as Colony Forming Units (CFU) of molds and yeasts, moisture content and water activity in wet coffee before and after the interruptions, as well as after the completion of drying were quantified. The concentration of ochratoxin A and the chemical compounds were also analyzed using NIRS in coffee beans from each treatment. According to the ANOVA, coffee subjected to an initial drying time of 12 hours exhibited distinct moisture content (42.29%) compared to the 6-hour drying (47.49%). Wet coffee exposed to interruptions displayed higher levels of fungi and yeasts (4.14×10^6 CFU/g) compared to dry parchment coffee (8.19×10^3 CFU/g). However, ochratoxin A levels remained consistent across treatments.

Keywords: fungi, yeast and molds, mechanical drying, ochratoxin A, water activity, green coffee, Cenicafé, Colombia.

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

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



La inocuidad de los alimentos puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud (Díaz & Sánchez, 2023). El café es una bebida de consumo humano y por lo tanto, la inocuidad del producto debe garantizarse en toda su cadena de procesamiento (Lachenmeier et al., 2021). Los hongos y levaduras son microorganismos que indican condiciones inapropiadas de almacenamiento y de manejo, estos microorganismos se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente y se dispersan fácilmente por el aire y por el polvo (Erkmen, 2022).

La población de hongos presentes durante la poscosecha y el almacenamiento, afecta negativamente a la calidad del café, especialmente en lo que se refiere al deterioro, los sabores desagradables y la producción de micotoxinas (Waters et al., 2017). Así mismo, la temperatura y la actividad del agua (a_w) desempeñan un papel importante en la biosíntesis de hongos toxigénicos que producen ocratoxina A (OTA) (Oliveira et al., 2019). Además de las aplicaciones industriales y alimentarias, los hongos también se utilizan en medicina para la producción de una gran cantidad de compuestos, como los antibióticos (Corbu et al., 2023); sin embargo, los hongos han sido designados como una de las principales causas de daños durante el almacenamiento de granos y sus metabolitos pueden poner en riesgo la salud de los consumidores.

La ocratoxina A (OTA) es un metabolito secundario, producido por hongos filamentosos como los de las especies *Aspergillus* y *Penicillium* (Yazdanfar et al., 2022). Esta micotoxina está clasificada como posible compuesto cancerígeno para humanos (Grupo 2B) (Mahmudiono et al., 2023). La ocratoxina A fue descrita por primera vez en

1965 producida por *Aspergillus ochraceus* en granos de sorgo enmohecido (Van der Merwe et al., 1965). Los granos de café pueden ser contaminados por hongos que, además de alterar la calidad del café, pueden presentar un grave riesgo de contaminación por OTA, comprometiendo la seguridad del producto (Batista et al., 2009). Levi et al. (1974) encontraron que los granos de café verde con presencia de *Aspergillus ochraceus* tenían niveles detectables de ocratoxina A y, en 1986, se reportó la presencia de ocratoxina en café tostado (Pardo et al., 2005). Para la producción de ocratoxinas, los valores de actividad de agua óptimos se encuentran en rangos de 0,87 a 0,90, dependiendo de la temperatura de almacenamiento (Gopinandhan et al., 2008); si en los granos hay altos contenidos de humedad que equivalen a elevados valores de actividad de agua ($a_w \geq 0,95$), prosperan los hongos hidrofílicos de rápido crecimiento, así como las levaduras, que compiten por el sustrato y reprimen el crecimiento de los hongos xerófilos productores de ocratoxina A, como los *Aspergillus* sp. (Mannaa & Kim, 2017).

Posterior a las etapas de eliminación de la cáscara y del mucílago, con sus respectivas actividades de clasificación, se obtiene café pergamino lavado con una humedad en base húmeda de alrededor del 52% al 53%, condición que es propicia para el crecimiento de microorganismos, por lo cual se hace necesario reducir la actividad de agua de los granos y asegurar la inocuidad del café, por medio de tecnologías como el secado (Parra et al., 2017). Para el café pergamino seco se ha determinado un nivel de humedad estable entre el 10% y el 12%, expresada en base húmeda (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2006).

La etapa de secado puede realizarse por dos vías: natural y mecánico. Por la vía natural

se aprovechan las propiedades del aire y la energía solar para reducir la humedad de los granos de café. En Colombia el secado natural ha sido utilizado tradicionalmente por fincas de baja producción, mientras que fincas de mediano y gran formato han empleado con mayor frecuencia el secado mecánico. En este tipo de secado, se emplea una fuente externa de calentamiento para aumentar la temperatura del aire, que es impulsado por ventiladores. El secado mecánico puede dividirse en tres tipos: el primero de capa estática, en el cual el café se deposita en una cámara de secado y el aire caliente cruza a través de las capas de café; el segundo, de capa dinámica, donde el café se encuentra en movimiento y el aire caliente se introduce por un eje central; el tercero es de flujos concurrentes, es el menos utilizado para el secado de café, en el que la masa se deposita en cangilones, permitiendo la caída de los granos de café en un sistema de secado vertical y el aire caliente circula en contracorriente (Oliveros et al., 2013).

Para el café procesado vía seca (café natural) los períodos de interrupción durante el secado pueden ayudar a mejorar la calidad final del producto y reducir el consumo de energía. En este aspecto, Isquierdo et al. (2012), encontraron que la combinación del secado de café con menores contenidos de humedad y mayores períodos de interrupción, así como la combinación de mayores contenidos de humedad y períodos más cortos de interrupción dieron como resultado los valores más bajos de lixiviación del potasio y la calidad de la bebida mejoró gradualmente a medida que aumentaba la duración del período de interrupción.

El sistema de secado estático, es el más común y empleado en Colombia para lo cual existen de forma comercial silos de diferentes capacidades. Además, se han establecido los parámetros técnicos para su adecuado

funcionamiento, como son: el flujo de aire de $100 \text{ m}^3\text{min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ de café pergamino seco (cps), temperatura no mayor a 55°C y la altura de la capa de café de 40 cm (Parra et al., 2017). Sin embargo, la práctica de apagar el silo interrumpiendo el proceso de secado es empleada por los caficultores debido principalmente a la logística de las fincas durante los períodos de procesamiento y a la necesidad que se presenta cuando debe completarse la cantidad de café para utilizar el silo. En un estudio previo, Pabón & Osorio (2022), determinaron que cuando se realizan prácticas de interrupción del secado mecánico, es más probable obtener defectos sensoriales que afectan la calidad de la bebida; sin embargo, se desconocía el efecto de interrumpir el secado y almacenar el café húmedo en la inocuidad y la producción de la ocratoxina A en el café. Por consiguiente, este trabajo tuvo como objetivo estimar las unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) de hongos y levaduras, así como la concentración de ocratoxina A ($\mu\text{g kg}^{-1}$), en los granos de café verde obtenidos cuando el café se somete a interrupciones durante el secado mecánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) ($5^\circ 00'$ latitud Norte, $75^\circ 36'$ longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con temperatura media de $21,2^\circ\text{C}$, temperatura máxima de $27,9^\circ\text{C}$, temperatura mínima de 17°C y humedad relativa del 82,3% (Manizales, Caldas). El procesamiento de los frutos se realizó en la Unidad de Beneficio de Semilla de Cenicafé, durante la cosecha principal y secundaria del año 2020 y 2021, respectivamente. En la Tabla 1 se describen los tratamientos evaluados, que consistieron en dos tiempos de secado inicial, cuatro tiempos de interrupción y un testigo absoluto (sin interrupción). La unidad experimental estuvo

conformada por 162 kg de café lavado de variedad Castillo® General. Para obtener el café lavado se realizó la clasificación manual para descartar frutos pintones e inmaduros, se removió el mucilago por fermentación espontánea definiendo el punto final con el Fermaestro™ y se realizó lavado manual del café utilizando la metodología de los cuatro enjuagues, se tuvieron cinco unidades experimentales por tratamiento.

El efecto de tratamientos se evaluó bajo el modelo para el diseño completamente aleatorio en arreglo factorial 2x4+1 (dos tiempos de secado, cuatro tiempos de interrupción y un testigo absoluto). Cada unidad experimental y de acuerdo con el tratamiento, se procesó en un secador de capa estática con combustión directa, con gas propano como combustible y con un caudal del aire de 100 m³ min⁻¹ cps y se empleó una temperatura del aire de secado de 37°C (±5,0°C). El proceso de interrupción se realizó en las instalaciones del beneficiadero en condiciones ambientales sin controlar, la temperatura promedio fue de 21,4°C (mínimo y máximo de 17,54°C y 29°C, respectivamente) y la humedad relativa fue en promedio de 86,08% (con un valor mínimo de 53,24% y 100% con valor máximo).

El contenido de hongos y levaduras se determinó en el café pergamino húmedo antes y después de los tiempos de interrupción y la concentración de ocratoxina A, se determinó al terminar el secado, estas se consideraron como variables de respuesta, y como variables complementarias se consideraron el contenido de humedad, la actividad de agua del café húmedo antes y después de los tiempos de interrupción y la composición química del café pergamino seco de todos los tratamientos. En la Figura 1 se presenta el esquema general de la toma de muestras y los análisis realizados.

Antes del proceso de secado, al momento de la interrupción y al finalizar el secado, se registró el contenido de humedad del café, utilizando el método de la estufa (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2005) y los valores de actividad de agua empleando un medidor de actividad de agua con control de temperatura (Novasina, LabMaster-aw).

Análisis microbiológico. El contenido de hongos y levaduras se determinó para el café pergamino húmedo antes y después de los tiempos de interrupción según cada tratamiento y para el café pergamino seco correspondiente.

Para determinar las unidades formadoras de colonia (UFC/g) de hongos y levaduras se esterilizaron todos los materiales en autoclave, por 15 minutos, a 120°C y 15 psi de presión. La preparación consistió en la adición de agua peptonada al 0,1% a 10,0 g de granos de café almendra provenientes de cada tratamiento. Se agitó la muestra y se realizaron diluciones seriales de esta preparación, desde 10⁻¹ hasta 10⁻³. La inoculación de las muestras se realizó en placas Petrifilm (3M®), que es un sistema de medio de cultivo específico y listo para usar para hongos y levaduras, que contiene nutrientes suplementados con antibióticos, un agente gelificante soluble en agua fría y un indicador que facilita la enumeración de hongos y levaduras. En la placa, las levaduras se caracterizan por ser colonias pequeñas de color verde azulado con bordes definidos y sin núcleo. Los hongos se caracterizan por ser colonias grandes de colores variables, con bordes difusos y núcleos centrales. Las placas se incubaron a una temperatura de 25°C, durante 5,0 días según el protocolo AOAC 997.02 (Andrews & Hammack, 2005).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Tiempo de secado (h)	Tiempo de interrupción (h)	Descripción
T12-12	12	12	Interrupción del secado mecánico a las 12 horas de iniciado el proceso por un período de 12 horas, después reinició hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T12-24	12	24	Interrupción del secado mecánico por 24 horas a las 12 horas de iniciado el proceso, después reinició el proceso de secado hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T12-36	12	36	Interrupción del secado mecánico por 36 horas a las 12 horas de iniciado el proceso, después reinició hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T12-48	12	48	Interrupción del secado mecánico por 48 horas a las 12 horas de iniciado el proceso, después continúa hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T6-12	6	12	Interrupción del secado mecánico por 12 horas a las seis horas de iniciado el proceso, después se continúa hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T6-24	6	24	Interrupción del secado mecánico por 24 horas a las seis horas de iniciado el proceso, después continúa hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T6-36	6	36	Interrupción del secado mecánico por 36 horas a las seis horas de iniciado el proceso, después continúa hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
T6-48	6	48	Interrupción del secado mecánico por 48 horas a las seis horas de iniciado el proceso, después reinició hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.
Testigo	Proceso de secado mecánico sin interrupción hasta que el café alcanzó una humedad entre el 10% y el 12%.		

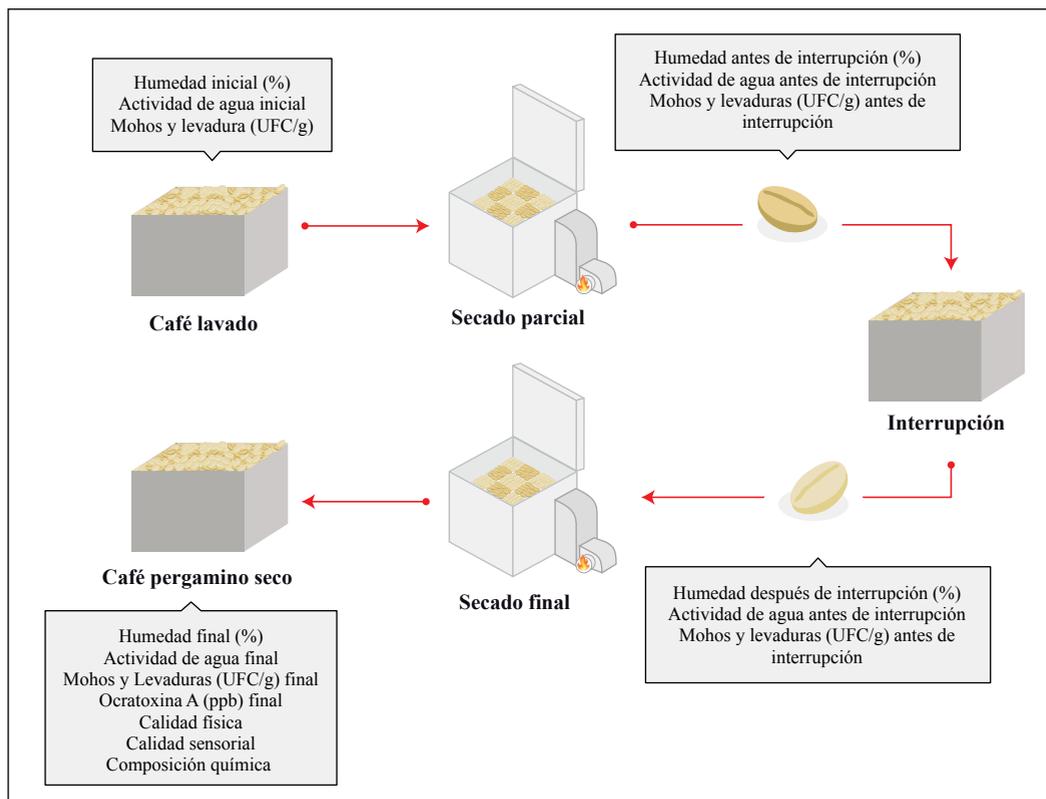


Figura 1. Procedimiento realizado y momento en el cual se toman las muestras para todos los análisis.

Análisis de Ocratoxina A

Se empleó el método fluorescencia de Vicam Ochratest® con columnas de inmunoafinidad, se realizó la extracción a 25 g de café almendra molido con 50 mL de metanol con NaHCO₃ al 3%, se agitó a alta velocidad por 1,0 minuto y se filtró a través de filtros Whatman N°4. Se tomaron 5,0 mL del filtrado y se aforaron con 20 mL de solución salina de buffer de fosfato Tween 20 al 2,0% (PBS). Se filtró nuevamente a través de un filtro de microfibras de vidrio de 1,5 µm dentro de un recipiente limpio. Para realizar la extracción, se tomaron 10 mL del extracto y se pasaron a través de la columna de Ochratest® de inmunoafinidad,

con una velocidad de una a dos gotas por segundo (empleando una jeringa de vidrio para generar presión de vacío controlado); luego, la columna se lavó con 10 mL de PBS/2%Tween-20 con la misma velocidad de flujo y, finalmente, se lavó con agua destilada (10 mL). Posteriormente se eluyó la columna con 1,5 mL de solución eluyente Ochratest® a una velocidad de una gota por segundo. El eluato se recogió en un vial y se llevó al Fluorómetro Vicam (serie 4Ex), previamente calibrado y se leyó la concentración de OTA (ppb) de la muestra.

Composición química. Se realizó mediante el método de espectroscopia de infrarrojo

cercano (NIRS) para estimar los contenidos de cafeína, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales, sacarosa y trigonelina presentes en el café verde de las muestras obtenidas (Gómez et al., 2021). Las muestras se analizaron en el rango de longitud de onda de 680–2.500 nm en un instrumento monocromador (NIRS model 6500, NIRSystems, Silver Spring, Maryland, USA).

Análisis de la información. Se determinaron los promedios y variación por tratamiento de las variables de respuesta y complementarias. Se realizó el análisis de varianza bajo un diseño completamente aleatorio. Además, se aplicó la prueba de Dunnett, al 5%, para identificar los tratamientos que tuvieran igual o mayor promedio, con respecto al testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad y actividad de agua del café

El proceso de secado del grano es crucial, puesto que permite que el café pergamino disminuya su humedad y de esta forma se evita la contaminación por el crecimiento de hongos. Con el objetivo de monitorear el comportamiento del contenido de humedad durante la aplicación de tratamientos, se estimaron la humedad y la actividad de agua del café antes y después de los tiempos de

interrupción. Con secado inicial de 12 horas el contenido de humedad se redujo a 42,29%, la cual fue significativamente menor a la obtenida cuando el tiempo inicial de secado fue de seis horas (47,49%).

La humedad del café después de los tiempos de interrupción, fue mayor cuando se aplicaron seis horas de secado inicial con valores promedio de 49,45%. Mientras que en los tratamientos en los cuales se empleó un tiempo de secado de 12 horas, la humedad después de los tiempos de interrupción fue en promedio de 44,08%. La humedad de los granos de café aumentó después de los tiempos de interrupción, en 1,96% y 1,79%, cuando se aplicó un secado inicial de seis y 12 horas, respectivamente (Tabla 2).

En cuanto a la duración del proceso de secado (Figura 2), los tratamientos que tardaron más en alcanzar la humedad deseada (10% al 12%) fueron los que tuvieron períodos de interrupción largos (48 h). Mientras que el testigo en el cual no hubo interrupciones tuvo en promedio una duración del secado de 50,2 horas. Al final del proceso, el café de todos los tratamientos independiente del tiempo de interrupción, continuaron con el secado hasta alcanzar una humedad comprendida entre el rango del 10% y el 12%.

Tabla 2. Humedad antes y después de la interrupción, según el tiempo de secado.

Tiempo de secado (h)	Humedad antes de la interrupción (%)	Humedad después de la interrupción (%)	Incremento (%)
6	47,49	49,45	1,96%
12	42,29	44,08	1,79%

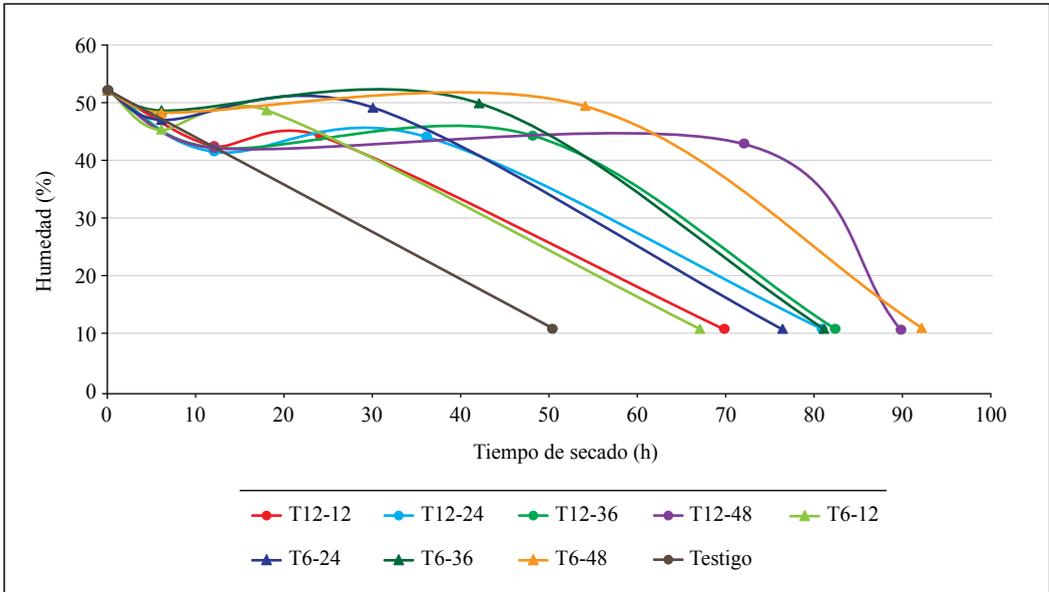


Figura 2. Variación de los contenidos de humedad medidos durante el tiempo de secado para los tratamientos.

Actividad de Agua

La actividad de agua es un parámetro termodinámico que representa la disponibilidad del agua para diferentes reacciones y está relacionada con el tipo de alimento, su composición química y la temperatura (Pardo et al., 2005). El proceso de secado de café que asegura contenidos de humedad comprendidos entre el 10% al 12%, elimina el agua disponible y deja solo el agua ligada, permitiendo que los valores de actividad de agua sean inferiores a 0,62 (Osorio, 2021).

Según el ANAVA no hubo efecto entre tratamientos para los valores de actividad de agua ($P = 0,8834$), es decir, que la actividad de agua fue igual antes de la interrupción, independiente del tiempo de secado inicial, con un promedio de 0,9107 y una desviación estándar de 0,0167. Del mismo modo, después de los tiempos de interrupción, el promedio de

actividad de agua (0,9680) fue independiente de los períodos de interrupción de secado ($P = 0,97296$).

Hongos y levaduras

Se observó que, cuando la humedad de los granos de café fue mayor al 40% y la actividad de agua fue de 0,94, se alcanzaron promedios altos de unidades formadoras de colonia de hongos y levaduras, del orden de 10^6 , que indican contaminación por estos microorganismos (Tabla 3). Del mismo modo, Pabón & Peñuela (2016) reportaron $7,67 \times 10^5$ UFC/g de hongos y levaduras para café húmedo almacenado antes del secado final. Mientras que, los menores valores para esta variable, del orden de 10^3 UFC/g, se encontraron cuando el café se encontraba seco, es decir, con un contenido de humedad entre el 10% y 12%, con un promedio de actividad de agua de 0,60. Cuando se analizó esta variable en el café

Tabla 3. Promedio y desviación estándar de las unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) de hongos y levaduras estimadas por tratamiento.

Tratamiento	Antes de interrupción			Después de interrupción			Final		
	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.
T12-12	4,75x10 ⁵	2,41x10 ⁵	1,28x10 ⁵	2,15x10 ⁶	1,27x10 ⁶	5,50x10 ⁵	1,30x10 ⁴	5,14x10 ³	0,0
T12-24	4,40x10 ⁵	2,33x10 ⁵	3,40x10 ⁴	8,75x10 ⁶	3,67x10 ⁶	1,16x10 ⁶	1,17x10 ⁴	8,79x10 ³	3,83x10 ³
T12-36	4,30x10 ⁵	2,49x10 ⁵	1,25x10 ⁵	5,60x10 ⁶	3,97 x10 ⁶	8,75x10 ⁵	2,70x10 ⁴	9,34x10 ³	0,0
T12-48	4,60x10 ⁵	3,54x10 ⁵	1,55x10 ⁵	7,40x10 ⁶	5,00x10 ⁶	1,75x10 ⁶	1,44x10 ⁴	9,82x10 ³	5,1x10 ³
T6-12	1,35x10 ⁶	4,50x10 ⁵	1,06x10 ⁵	3,00x10 ⁶	1,18x10 ⁶	5,25x10 ⁵	1,60x10 ⁴	6,72x10 ³	0,0
T6-24	1,03x10 ⁶	5,28x10 ⁵	2,00x10 ⁵	6,80x10 ⁶	3,43x10 ⁶	1,18x10 ⁶	2,55x10 ⁴	8,32x10 ³	0,0
T6-36	6,26x10 ⁵	5,49x10 ⁵	4,98x10 ⁵	6,25x10 ⁶	4,31x10 ⁶	2,55x10 ⁶	2,20x10 ⁴	1,09x10 ⁴	0,0
T6-48	1,48x10 ⁶	9,48x10 ⁵	3,50x10 ⁵	3,22x10 ⁷	1,03x10 ⁷	3,20x10 ⁶	2,25x10 ⁴	1,42x10 ⁴	0,0
Testigo	1,26x10 ⁶	6,47x10 ⁵	7,0x10 ³	-	-	-	1,50x10 ³	5,00x10 ²	0,0

pergamino seco no hubo efecto de tratamientos, según prueba Dunnett al 5% de significancia, es decir que, a pesar de someter el café a períodos de interrupción durante el proceso de secado, cuando el grano de café se encuentra en rangos de humedad comprendidos entre el 10% al 12% se asegura la inocuidad del producto al disminuir las cantidades de microorganismos que pueden afectarla. De forma similar, Maman et al. (2021) no encontraron diferencias en el contenido de hongos de las especies *Aspergillus* y *Penicillium*, en frutos de *Coffea arabica*, en café despulpado, en café lavado y en café pergamino seco, proveniente del Norte de Tailandia, con un contenido de hongos menor en los granos de café secos. Sin embargo, cuando se somete el café lavado a interrupciones de hasta 48 horas, el secado debe realizarse de forma inmediata para evitar la generación de defectos sensoriales, como el terroso, que afectan la calidad sensorial de la bebida (Pabón & Osorio, 2022).

Los daños causados por los hongos en el grano de café reducen la calidad sensorial de la bebida y ponen en peligro la seguridad del producto final. Los estudios microbiológicos han demostrado que los principales géneros de hongos filamentosos que atacan los granos de café son *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp y *Fusarium* spp (Hlebová et al., 2022), los cuales están presentes tanto en el campo como durante el almacenamiento (Puerta, 2003). Batista et al. (2009), determinaron que los frutos recogidos del suelo y los retirados por medio de flotación, presentan mayor riesgo de contaminación por hongos que producen ocratoxina A, lo que muestra la importancia de clasificar el café durante todas las actividades relacionadas con el proceso de beneficio y evitar interrupciones durante el proceso de secado. En consecuencia, los frutos de café utilizados en este estudio para la aplicación de los tratamientos, fueron clasificados hidráulicamente previo a su procesamiento,

y seleccionados por estado de madurez asegurando frutos 100% maduros y sanos, lo anterior contribuyó a un menor riesgo de contaminación por hongos. Así mismo, la clasificación hidráulica no genera riesgos en la inocuidad del producto ni aumenta los defectos sensoriales del café (Osorio, 2021).

Ocratoxina A

Según el ANAVA el contenido de ocratoxina A fue estadísticamente igual en todos los tratamientos de secado y tiempos de interrupción probados ($P > 0,17578$). Los valores promedio estuvieron entre 3,8 a 6,9 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Tabla 4). El valor mínimo correspondió al testigo, en el cual el café no se sometió a interrupciones durante el proceso de secado. La norma vigente del contenido de ocratoxina A (EU1370/2022) para café tostado y café soluble contempla valores de hasta 5,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$; teniendo en cuenta que esta micotoxina es termoresistente, se ha demostrado que existe una reducción debido al proceso de tueste, al cual es sometido el café almendra, con porcentajes de reducción de esta micotoxina desde el 69% hasta el 90% (Van der Stegen et al., 2001). Del mismo modo, los contenidos de ocratoxina A en el 100% de las muestras provenientes de frutos maduros de *C. arabica* procesados por vía seca y vía húmeda estuvieron en un rango de 0 a 5,0 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Batista et al., 2009). Sin embargo, el 76,8% de las muestras obtenidas de café recogido del suelo y de granos clasificados como flotes obtuvieron valores de ocratoxina A entre 5,0 y 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de ocratoxina A (Batista et al., 2009). De la misma forma Gopinandhan et al. (2008) determinaron en 80 muestras de café de la India, que el 74% del café arábigo procesado por vía húmeda obtuvo valores de ocratoxina de 0,2 a 13,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Sousa et al. (2019) analizaron el contenido de ocratoxina A de 30 muestras de café provenientes de diferentes zonas del

Brasil, con presencia de hongos de los géneros *Aspergillus*, encontrando que ninguna de las muestras evaluadas sobrepasó el límite de 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$, establecido en este país para los granos de café verde. Además, Estrada-Bahena et al. (2022) almacenaron café almendra con diferentes contenidos de actividad de agua a 35°C por 60 días, y estimaron que los aumentos de la ocratoxina A (20,40 a 22,54 $\mu\text{g kg}^{-1}$) estuvieron relacionados con valores de actividad de agua entre 0,628 a 0,743 y con la temperatura de almacenamiento.

Composición química

Como información complementaria se cuantificaron por medio de la técnica NIRS (Gómez et al., 2021) los siguientes compuestos químicos: cafeína (%), trigonelina (%), sacarosa (%), lípidos (%), ácidos clorogénicos totales (%), ácidos grasos: esteárico (%), linoleico (%), oleico (%), araquídico (%) y palmítico (%) (Tabla 5). Ninguna de estas variables

presentó diferencias entre tratamientos ni con el testigo, es decir que, la interrupción del proceso de secado mecánico no tuvo influencia en el contenido de los compuestos químicos evaluados, cuando se realiza el secado con temperaturas controladas y no mayores a 40°C. En contraste, el empleo de altas temperaturas (mayores a 55°C) durante el secado sí tiene influencia en los compuestos lipídicos del café almendra y están relacionados con la calidad sensorial del producto (Coradi et al., 2007; Cano et al., 2018).

Se puede concluir que para mantener la inocuidad del café y evitar el crecimiento de hongos, que contribuyen al crecimiento de micotoxinas como la ocratoxina A, es necesario reducir la humedad del grano a valores del 10% al 12% a través de un proceso de secado continuo. Adicionalmente para mantener la calidad e inocuidad del café lavado, se deben realizar prácticas de clasificación al fruto antes del procesamiento.

Tabla 4. Valores promedio y desviación estándar de la ocratoxina A.

Tratamiento	Promedio ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	Desv. Estándar
7T12-12	6,0	2,2
T12-24	6,1	1,8
T12-36	4,5	2,0
T12-48	5,0	1,2
T6-12	6,0	2,6
T6-24	4,2	2,6
T6-36	6,9	1,2
T6-48	4,2	2,2
Testigo	3,8	1,2

Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar para los compuestos químicos.

Grupo	Compuesto	Promedio	Desviación Estándar
Alcaloides	Cafeína (%)	1,18	0,11
	Trigonelina (%)	1,00	0,13
Azúcares	Sacarosa (%)	7,24	0,72
Lípidos	Lípidos (%)	11,68	1,15
Ácidos Clorogénicos	Ácidos Clorogénicos Totales (%)	5,42	0,80
Ácidos grasos libres	Esteárico (%)	7,15	1,31
	Linoleico (%)	40,06	2,88
	Oleico (%)	11,44	2,17
	Araquídico (%)	2,87	0,34
	Palmitico (%)	39,82	5,32

AGRADECIMIENTOS

A la Disciplina de Biometría, doctor Rubén Medina. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y Jhon Félix Trejos. En la Disciplina de Calidad a Claudia Gómez, Paola Calderón, Wilson Vargas y Víctor Castañeda. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número CAL105003.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Redacción-borrador original: J.P.U.; Análisis formal, Metodología, Validación: J.P.U. y V.O.P.; Redacción- revisión y edición: J.P., V.O. y C.P.G.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Andrews, W., & Hammack, T. (2005). Microbiological Methods. En W. Horwitz & G. W. Latimer (Eds.), *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18a ed., pp. 1–252). AOAC International.
- Batista, L. R., Chalfoun, S. M., Silva, C. F., Cirillo, M., Varga, E. A., & Schwan, R. F. (2009). Ochratoxin A in coffee beans (*Coffea arabica* L.) processed by dry and wet methods. *Food Control*, 20(9), 784–790. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.10.003>
- Cano Suárez, H. F., Ciro Velásquez, H. J., y Arango Tobón, J. C. (2018). Efecto del secado y presecado mecánico previo al almacenamiento en la Calidad del grano de café (*Coffea arabica* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 439–448. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1068>
- Coradi, P. C., Borém, F. M., Saath, R., & Marques, E. R. (2007). Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. *Coffee Science*, 2(1), 38–47. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/5624>
- Corbu, V. M., Gheorghie-Barbu, I., Dumbravă, A. Ștefania, Vrâncianu, C. O., & Șesan, T. E. (2023). Current Insights in Fungal Importance—A Comprehensive Review. *Microorganisms*, 11(6), 1384. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061384>
- Díaz, Y., & Sánchez, M. (2023). Guía preventiva de la inocuidad en empresas destinadas a la producción de alimentos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(1), 59–66. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/597>
- Erkmen, O. (2022). Counting of important microbial groups from food products. En *Microbiological Analysis of Foods and Food Processing Environments* (pp. 63–64). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91651-6.00047-1>
- Estrada-Bahena, E. B., Salazar, R., Ramírez, M., Moreno-Godínez, Ma. E., Jiménez-Hernández, J., Romero-Ramírez, Y., González-Cortázar, M., & Alvarez-Fitz, P. (2022). Influence of water activity on physical properties, fungal growth, and ochratoxin A production in dry cherries and green-coffee beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2), e16226. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16226>
- 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>
- Gopinandhan, T. N., Kannan, G. S., Panneerselvam, P., Velmourougane, K., Raghuramulu, Y., & Jayarama, J. (2008). Survey on ochratoxin A in Indian green coffee destined for export. *Food Additives and Contaminants*, 1(1), 51–57. <https://doi.org/10.1080/19393210802236984>
- Hlebová, M., Uzsáková, V., Podhorská, L., Vešelenyiová, D., Mrkvová, M., Čuboň, J., & Hleba, L. (2022). Mycobiota and Co-Occurrence of Mycotoxins in Green and Roasted Coffee Beans. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(4), e5779. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5779>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). NTC 2325:2005 Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105 °C. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html>
- Isquierdo, E. P., Borém, F. M., Oliveira, P. D. D., Siqueira, V. C., & Alves, G. E. (2012). Quality of natural coffee subjected to different rest periods during the drying process. *Ciência e Agrotecnologia*, 36(4), 439–445. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000400008>
- Lachenmeier, D. W., Schwarz, S., Rieke-Zapp, J., Cantergiani, E., Rawel, H., Martín-Cabrejas, M. A., Martuscelli, M., Gottstein, V., & Angeloni, S. (2021). Coffee By-Products as Sustainable Novel Foods: Report of the 2nd International Electronic Conference on Foods—“Future Foods and Food Technologies for a Sustainable World”. *Foods*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.3390/foods11010003>
- Levi, C. P., Trenk, H. L., & Mohr, H. K. (1974). Study of the Occurrence of Ochratoxin A in Green Coffee Beans. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 57(4), 866–870. <https://doi.org/10.1093/jaoac/57.4.866>
- Mahmudiono, T., Fakhri, Y., Sarafraz, M., Mehri, F., Hoseinvandtabar, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). The prevalence and concentration of ochratoxin A in green coffee-based products: A worldwide systematic review, meta-analysis, and health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 122, 105423. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105423>
- Mannaa, M., & Kim, K. D. (2017). Influence of Temperature and Water Activity on Deleterious Fungi and Mycotoxin

- Production during Grain Storage. *Mycobiology*, 45(4), 240–254. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- Maman, M., Sangchote, S., Piasai, O., Leesutthiphonchai, W., Sukorini, H., & Khewkhom, N. (2021). Storage fungi and ochratoxin A associated with arabica coffee bean in postharvest processes in Northern Thailand. *Food Control*, 130, 108351. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108351>
- Oliveira, Evangelista, S. R., Passamani, F. R. F., Santiago, W. D., Cardoso, M. das G., & Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT*, 102, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., Peñuela-Martínez, A. E., & Pabón, J. (2013). Secado solar y secado mecánico del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 49–80). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_29
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). Good hygiene practices along the coffee chain. FAO. http://www.ico.org/projects/Good-Hygiene-Practices/cnt/cnt_sp/ghpx.html
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3.a ed., pp. 219–234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Pabón, J., & Osorio, V. (2022). Efecto de la interrupción del secado mecánico en la calidad física y sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73201. <https://doi.org/10.38141/10778/73201>
- Pabón, J., & Peñuela, A. E. (2016). Aplicación de agua ozonizada y actividad microbiana en el café pergamino húmedo durante el almacenamiento. *Revista Cenicafé*, 67(2), 7–14. <http://hdl.handle.net/10778/726>
- Pardo, E., Marín, S., Ramos, A. J., & Sanchis, V. (2005). Effect of Water Activity and Temperature on Mycelial Growth and Ochratoxin A Production by Isolates of *Aspergillus ochraceus* on Irradiated Green Coffee Beans. *Journal of Food Protection*, 68(1), 133–138. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.1.133>
- Parra, A., Roa, G., Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino. *Cenicafé*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Puerta, G. I. (2003). Prevenga la ochratoxina A y mantenga la inocuidad y la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 317, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/361>
- Sousa, T. M. A., Batista, L. R., Passamani, F. R. F., Lira, N. A., Cardoso, M. G., Santiago, W. D., & Chalfoun, S. M. (2019). Evaluation of the effects of temperature on processed coffee beans in the presence of fungi and ochratoxin A. *Journal of Food Safety*, 39(1), e12584. <https://doi.org/10.1111/jfs.12584>
- Van der Merwe, K. J., Steyn, P. S., Fourie, L., Scott, D. B., & Theron, J. J. (1965). Ochratoxin A, a toxic metabolite produced by *Aspergillus ochraceus* Wilh. *Nature*, 205(976), 1112–1113. <https://doi.org/10.1038/2051112a0>
- Van der Stegen, G. H., Essens, P. J., & van der Lijn, J. (2001). Effect of roasting conditions on reduction of ochratoxin A in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4713–4715. <https://doi.org/10.1021/jf0105586>
- Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2017). Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259–274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.902804>

TAMAÑO DEL GRANO DESPULPADO EN LAS NUEVAS VARIETADES DE CAFÉ

Luis Carlos Imbachí Quinchua *, Rubén Darío Medina-Rivera *, Juan Rodrigo Sanz Uribe **

Imbachí, L. C., Medina-Rivera, R., & Sanz-Uribe, J. R. (2023). Tamaño del grano despulpado en las nuevas variedades de café. *Revista Cenicafé*, 74(2), e74206. <https://doi.org/10.38141/10778/74206>



Durante el despulpado del café cereza, el uso de zarandas es esencial para la separación de impurezas, sin embargo, a pesar de la efectividad y el uso de las nuevas variedades de café, este propósito se ve limitado en granos cuyo espesor supera el ancho de la zaranda, dejando así, granos de mayor tamaño atrapados dentro de ella. Es así como con el fin de caracterizar el tamaño del grano despulpado en las variedades actuales y determinar el porcentaje de café retenido, en tres estaciones experimentales de Cenicafé, se seleccionaron aleatoriamente lotes de diferente edad, densidad y variedad, obteniendo 142 muestras, cada una con 100 granos de café despulpado, para un total de 14.200 unidades de muestreo, provenientes de diferentes pases y cosechas; se midió y registró el largo, ancho y espesor de cada unidad de muestreo. Independiente de la procedencia, el largo del grano despulpado varió de 6,5 a 19,9 mm, ancho de 4,3 a 15,3 mm, y espesor de 2,2 a 16,4 mm. El porcentaje de retención de café despulpado varía según la localidad, variedad y pase de cosecha, siendo Naranjal la localidad con el mayor porcentaje de retención (5,4%), seguido de El Rosario (2,6%) y El Tambo (2,1%). La variedad Cenicafé 1 retuvo el mayor porcentaje de café despulpado con 10% en Naranjal, 4,0% en El Rosario y 5,3% en El Tambo.

Palabras claves: Café despulpado, variedades de café, cosechas de café, zaranda, Cenicafé, Colombia.

CHARACTERIZING DEPULPED COFFEE BEAN SIZES IN NEW COFFEE VARIETIES

During the pulping of cherry coffee beans, the use of sieves is essential for separating impurities. However, in the case of new coffee varieties, the effectiveness of this process is limited when beans exceed the width of the sieve, resulting in larger beans getting trapped. To address this issue, this comprehensive study aimed at characterizing the size of the pulped beans in these new varieties to determine the percentage of beans retained within three experimental stations of Cenicafé. One hundred and forty-two samples were collected, each comprising 100 pulped coffee beans, totaling 14,200 sampling units. These samples were sourced from various crop times, harvests, and featured different ages, densities, and coffee varieties. Irrespective of origin, the length of the depulped beans ranged from 6.5 mm to 19.9 mm, the width from 4.3 mm to 15.3 mm, and the thickness from 2.2 mm to 16.4 mm. In terms of percentage retention of depulped coffee, variations based on locality, coffee variety, and harvest period were observed. Notably, Naranjal exhibited the highest percentage retention at 5.4%, followed by El Rosario at 2.6% and El Tambo at 2.1%. Additionally, the Cenicafé 1 variety retained the highest percentage of depulped coffee, reaching 10% in Naranjal, 4.0% in El Rosario, and 5.3% in El Tambo.

Keywords: pulped coffee, coffee varieties, coffee harvests, coffee sieve, Cenicafé, Colombia.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico II. Disciplina Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>, <https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>

** Investigador Científico III. Disciplina de Poscosecha, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>



En el proceso de las operaciones y técnicas destinadas al tratamiento del fruto maduro del café (café cereza), el beneficio húmedo es el proceso mediante el cual, el café cereza, por ser un material perecedero, se transforma rápidamente a café pergamino seco. Para realizarlo, se remueven todas las estructuras que cubren los granos como son la pulpa o epicarpio, y el mucílago o mesocarpio, para posteriormente secar los granos desde una humedad de aproximadamente 53% base húmeda hasta un rango entre el 10% y el 12%, lo cual permite su conservación en las condiciones naturales (Oliveros-Tascón & Sanz-Uribe, 2011). En relación a la remoción de estructuras que cubren el fruto de café, esta se realiza en la primera etapa del beneficio húmedo del café, denominada despulpado de café, la cual consiste en retirar la pulpa de la cereza por medio de la presión que se ejerce entre la camisa de la despulpadora y el fruto maduro, que posteriormente pasa por las clasificadoras de café despulpado llamadas zarandas (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2004).

Las zarandas son clave en el proceso de beneficio, dado que permiten separar el café limpio o despulpado del no despulpado, según el momento en que se realiza. Aristizabál y Duque-Urrego (2005) refieren que el 94% de los caficultores con secado mecánico realiza la clasificación de café en el beneficio convencional, donde el 56% de los productores clasifica el café después de despulparlo, el 90% de ellos lo hace al momento de lavar el café y el 66% lo clasifica en seco. En muchas fincas se clasificaba de las tres maneras; en dos de ellas, bien sea después de despulpar y al secarlo, o después de despulpar y en el lavado, por lo tanto, no son excluyentes.

Actualmente en Colombia, se manejan las zarandas de vaivén o circulares, las cuales

están compuestas por una lámina de hierro galvanizado o aluminio, con huecos oblongos de 7 a 8 mm de ancho por 25 mm de largo, adheridas a las despulpadoras de cilindro horizontal, vertical o las de disco, cuyo diseño y tamaño dependen de la capacidad de despulpado de las máquinas y de las condiciones económicas del caficultor. Por consiguiente, la pérdida de café en el despulpado, generalmente se debe a una mala calibración, un mal diseño, mal estado o tamaños grandes del fruto de café (Roa et al., 1999).

Es así como Montilla-Pérez et al. (2008) analizaron algunas propiedades físicas y factores de conversión de la variedad Colombia, desde fruto maduro hasta grano almendra en una muestra seleccionada. El diámetro ecuatorial, polar y el peso del café cereza, con valores de 14,93 mm, 16,39 mm y 2,0 g, respectivamente, que tendió a ser mayor en la época intermedia de la cosecha. Por otra parte, el ancho promedio en la muestra seleccionada del café lavado en el inicio, intermedio y final de la cosecha fue de 8,69 mm, 8,76 mm, 8,66 mm, respectivamente, y el largo fue de 12,30 mm, 12,45 mm y 12,19 mm, lo cual indica que los frutos lavados de la variedad Colombia tienen un mayor ancho en una época de cosecha intermedia. Además, en las muestras sin seleccionar, el ancho promedio fue de 8,57 mm, 8,75 mm y 8,57 mm en el inicio, intermedio y final de la cosecha, evidenciando igual en el largo del grano, mayores valores en época de cosecha intermedia.

Muñoz y Noguera (2016) analizaron algunas propiedades físicas y factores de conversión durante el proceso de beneficio de las variedades Colombia y Caturra, a diferentes alturas sobre el nivel del mar, en el departamento de Nariño. En la variedad Colombia encontraron que el mayor ancho promedio de café en baba se obtuvo a una

altitud de 1.470 m con 9,28 mm, y un largo promedio de 13,35 mm. Por otra parte, en la variedad Castillo[®], el mayor ancho y largo promedio de café en baba se encontró a una altitud de 1.558 m con 10,36 mm y 14,2 mm, respectivamente. Además, la investigación muestra descriptivamente que a medida que aumenta la altitud, el ancho y largo del grano de la variedades Caturra y Colombia disminuye.

En general, es importante tener en cuenta los tamaños del fruto de las nuevas variedades de café, dado que granos de buena calidad pueden quedar atrapados en la zaranda, generando pérdidas para el caficultor, siendo necesario, caracterizar el tamaño del grano despulpado de las nuevas variedades de café para el ajuste de zarandas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Esta investigación se realizó en las Estaciones Experimentales de Cenicafé, Naranjal, El Rosario y El Tambo ubicadas en los departamentos de Caldas, Antioquia y Cauca, en las cuales se seleccionaron aleatoriamente once, nueve y ocho lotes productivos, respectivamente, con características contrastantes en cuanto a oferta ambiental, edad, densidad de siembra y manejo agronómico, sembrados con las variedades actualmente producidas en Cenicafé.

Materiales

La caracterización del tamaño del grano despulpado se realizó para las variedades: Castillo[®] Zona Centro, Norte y Sur lanzadas en el 2016, caracterizadas por su alta calidad en taza, resistencia a la roya del café y buen tamaño del fruto; la variedad Castillo[®] General liberada en el 2005, responsable de al menos

el 50% de la producción de café (Flórez et al., 2018); la variedad Cenicafé 1, distinguida por su porte bajo, alta productividad por árbol y resistencia a la enfermedad de la cereza del café (CBD) (Flórez et al., 2016). La variedad Castillo[®] regional El Rosario, con área de influencia en los departamentos de Antioquia, Risaralda y Caldas (Alvarado-Alvarado et al., 2005); y finalmente, la variedad Castillo[®] regional El Tambo, con área de influencia principalmente en los departamentos de Cauca y Huila (Posada-Suárez et al., 2006).

Metodología

Para cada localidad, previo a la recolección de muestras de café despulpado, se llevó a cabo una jornada de entrenamiento y calibración, con el objetivo de instruir a cada operario sobre el método de medición del grano despulpado. Posteriormente, para cada cosecha y pase descrito en la Tabla 1, se recolectaron muestras compuestas de 300 gramos de café despulpado antes de su paso por la zaranda, y de cada una se seleccionaron 100 granos de café despulpado, posteriormente se midió y registró el largo, ancho y espesor de la siguiente manera:

El diámetro polar o largo del grano despulpado se definió como la máxima longitud rectilínea que puede obtenerse en la cara plana del grano, y el diámetro ecuatorial o ancho, se estableció como la máxima longitud rectilínea perpendicular al largo del grano, mientras que, el espesor del grano es la máxima longitud rectilínea entre la cara plana y convexa del grano, como lo muestra la Figura 1. El equipo de medición para el largo, ancho y espesor fue un calibrador digital de escala absoluta con sensor in situ avanzado (AOS) Mitutoyo 500-196-30, rango de medición de 0 a 6 "/ 0 a 150 mm, resolución de 0,0005" / 0,01 mm, LCD.

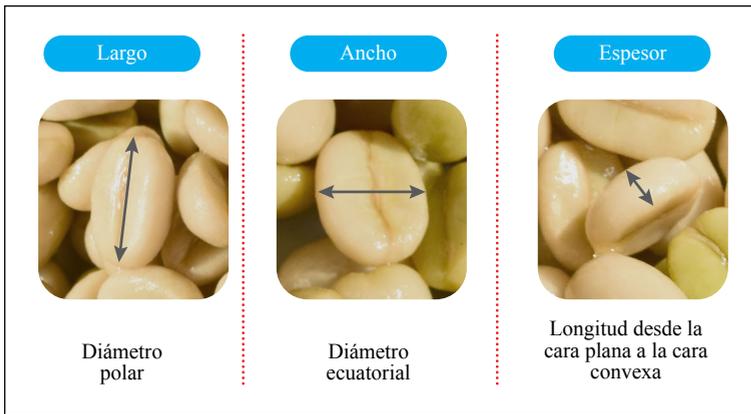


Figura 1. Dimensiones físicas de un grano de café despulpado.

Tabla 1. Fechas de muestreo para las localidades de Naranjal, El Rosario y El Tambo en el año 2021-2022.

Localidad	Cosecha	Pase	Fecha
Naranjal y El Rosario		Inicial	1 Enero - 31 Marzo
	Mitaca	Intermedia	1 Abril - 31 Mayo
		Final	1 Junio - 30 Junio
		Inicial	1 Julio - 31 Agosto
	Principal	Intermedia	1 Septiembre - 15 noviembre
		Final	16 Noviembre - 31 Diciembre
El Tambo		Inicial	1 Enero - 31 Marzo
	Principal	Intermedia	1 Abril - 31 Mayo
		Final	1 Junio - 30 Junio
		Inicial	1 Julio - 31 Agosto
	Mitaca	Intermedia	1 Septiembre - 15 noviembre
		Final	16 Noviembre - 31 Diciembre

Análisis de información

La caracterización del tamaño del grano despulpado en las nuevas variedades de café se analizó mediante las siguientes técnicas estadísticas. En primera instancia, para cada localidad, variedad, cosecha y pase con las variables físicas del grano, largo, ancho y espesor, se describió, mínimo, máximo, mediana, media, desviación estándar y coeficiente de variación (CV). Posteriormente, con el fin de explorar las relaciones entre las localidades y características del grano, se aplicó un análisis de componentes principales y se realizó la prueba de comparación t de Student al 5% de significancia, para establecer diferencias entre pases de cosecha, y finalmente, con el propósito de determinar escenarios del porcentaje de frutos retenidos por localidad, variedad y cosecha, se precisó el porcentaje de café retenido para un ancho de hueco oblongo de zaranda de 7,0 mm a 8 mm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Largo del grano despulpado

Teniendo en cuenta la variedad, cosecha y pase se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la localidad de El Rosario, en la variedad Cenicafé 1, se observó el menor largo del grano despulpado con un mínimo de 7,8 mm y un máximo de 17,3 mm, y descriptivamente, en promedio es mayor a Castillo® El Rosario y Castillo® General, en un 3,5% y 5,0%, respectivamente. En cuanto a la localidad de Naranjal el mínimo y máximo observados se dio en la variedad Cenicafé 1 con 9,7 mm y 17,2 mm, respectivamente. En promedio, la variedad Castillo® Zona Norte evidenció descriptivamente tener el mayor largo del grano despulpado con 13,7 mm. Finalmente, en la localidad de El Tambo la

variedad de Cenicafé 1 y Castillo® El Tambo, presentaron en promedio, para un pase final de cosecha, el mismo largo del grano con 13,2 mm (Tabla 2).

Ancho del grano despulpado

Al analizar esta característica del grano despulpado por variedad, cosecha y pase, en cada una de las localidades se tiene: para Naranjal, el mínimo y máximo observados se dio para la variedad Cenicafé 1 en un pase intermedio de una cosecha de mitaca con 7,5 mm y 15,1 mm, respectivamente, y en promedio la variedad Castillo® Zona Norte, en un pase intermedio de una cosecha principal, presentó el menor ancho con 9,2 mm. Entre tanto, en la localidad de El Rosario, el ancho promedio fluctuó entre 9,0 mm y 9,5 mm y el 50% de los frutos tuvo un ancho igual o inferior a 9,5 mm, y este pudo alcanzar un máximo observado de 15,3 mm. Por otra parte, en la localidad de El Tambo, la variedad Castillo® El Tambo en un pase final de una cosecha principal, en promedio presentó el menor ancho del grano despulpado con 8,8 mm, mientras que Cenicafé 1, en un pase intermedio de una cosecha de mitaca presentó en promedio el mayor ancho del grano con 9,3 mm (Tabla 3).

Espesor del grano despulpado

Dado que el espesor del grano es la unidad por la cual la zaranda hace la clasificación del café despulpado, se tiene por variedad, cosecha y pase que: para la estación de Naranjal, en promedio el espesor del grano fluctuó entre 5,8 mm y 6,3 mm, mientras que para la estación El Rosario fluctuó entre 5,4 mm y 5,9 mm, y para El Tambo este no fue superior a 5,7 mm. En el 50% de los granos despulados para Naranjal, El Rosario y El Tambo no superaron un espesor de 6,1

Tabla 2 . Estadísticas para la variable largo del grano despulpado, por localidad, variedad, cosecha y pase.

Localidad	Variedad	Lotes por variedad	Cosecha	Pase	Pases por cosecha	Media	Desv	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.	CV
Naranjal	Castillo® Zona Centro	2	Mitaca	Inicial	5	13,3	0,9	10,8	12,7	13,3	13,8	15,7	6,7
			Mitaca	Intermedia	5	13,3	0,9	11,0	12,6	13,3	13,9	15,8	6,8
			Principal	Intermedia	5	13,1	0,9	9,8	12,5	13,0	13,6	16,3	6,8
	Castillo® Zona Norte	2	Mitaca	Intermedia	3	12,9	0,8	10,1	12,5	12,9	13,5	15,5	6,2
			Principal	Intermedia	2	13,7	1,1	10,1	12,9	13,7	14,5	16,4	8,0
	Castillo® Zona Sur	1	Mitaca	Intermedia	2	13,1	0,9	10,8	12,5	13,1	13,7	15,1	6,6
			Principal	Intermedia	1	12,9	0,8	11,2	12,4	12,8	13,3	15,4	5,8
	Cenicafé 1	6	Mitaca	Inicial	21	13,1	0,8	10,8	12,6	13,1	13,6	16,0	5,8
			Mitaca	Intermedia	21	12,9	0,8	9,7	12,4	12,9	13,5	15,8	6,4
			Principal	Final	12	13,3	0,8	11,4	12,8	13,4	13,8	15,2	5,8
			Principal	Intermedia	12	13,5	0,9	10,9	13,0	13,5	14,0	17,2	6,5
	Castillo® El Rosario	1	Principal	Intermedia	1	13,5	1,1	10,3	12,8	13,4	14,2	16,7	8,4
Principal			Intermedia	2	13,3	1,0	11,0	12,5	13,3	13,9	16,1	7,6	
El Rosario	7	Mitaca	Inicial	22	13,2	0,9	8,8	12,6	13,2	13,8	15,8	6,9	
		Mitaca	Intermedia	22	13,2	0,9	10,1	12,6	13,2	13,8	15,8	6,7	
		Principal	Final	18	13,5	0,9	7,8	12,9	13,5	14,1	16,3	6,8	
		Principal	Intermedia	18	14,0	1,1	10,1	13,3	14,0	14,7	17,3	7,5	
El Tambo	Castillo® El Tambo	5	Mitaca	Final	15	13,0	0,9	10,2	12,3	12,9	13,6	16,5	7,1
			Mitaca	Intermedia	15	13,0	1,0	6,5	12,3	13,1	13,6	16,4	7,9
			Principal	Final	15	13,2	1,2	10,3	12,3	13,2	14,1	15,3	9,1
	Cenicafé 1	3	Principal	Intermedia	15	12,9	1,0	8,4	12,3	12,9	13,6	16,3	7,8
			Mitaca	Final	9	13,2	0,9	9,5	12,6	13,2	13,8	15,8	7,0
			Mitaca	Intermedia	9	12,9	0,9	8,8	12,4	12,9	13,5	15,7	7,0
Principal	9	Principal	Inicial	9	12,6	0,9	10,1	12,1	12,6	13,2	20,0	7,1	
		Principal	Intermedia	9	12,9	1,0	8,9	12,3	13,0	13,6	16,3	7,6	

Tabla 3. Estadísticas para la variable ancho del grano despulpado, por localidad, variedad, cosecha y pase.

Localidad	Variedad	Lotes por variedad	Cosecha	Pase	Pases por cosecha	Media	Desv	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.	CV
Naranjal	Castillo® Zona Centro	2	Mitaca	Inicial	5	9,7	0,6	8,0	9,2	9,7	10,1	11,3	6,0
			Mitaca	Intermedia	5	9,8	0,6	7,9	9,3	9,7	10,1	12,7	6,5
			Principal	Intermedia	5	9,8	0,6	8,2	9,4	9,8	10,2	12,5	6,2
	Castillo® Zona Norte	2	Mitaca	Intermedia	3	9,7	0,5	8,4	9,4	9,6	9,9	14,1	5,5
			Principal	Intermedia	2	9,8	0,7	7,7	9,4	9,8	10,2	12,7	7,2
	Castillo® Zona Sur	1	Mitaca	Intermedia	2	9,7	0,6	7,7	9,3	9,7	10,0	13,0	6,4
			Principal	Intermedia	1	9,2	0,5	8,3	9,0	9,2	9,4	12,3	4,9
	Cenicafé 1	6	Mitaca	Inicial	21	9,8	0,5	8,1	9,5	9,8	10,1	12,3	5,6
			Mitaca	Intermedia	21	9,6	0,6	7,5	9,3	9,6	10,0	15,1	6,2
			Principal	Final	12	9,8	0,5	8,5	9,4	9,8	10,1	11,0	5,4
			Principal	Intermedia	12	9,8	0,6	8,2	9,4	9,8	10,2	13,0	6,4
	Castillo® El Rosario	1	Principal	Intermedia	1	9,2	0,8	6,8	8,7	9,2	9,7	12,7	8,5
Principal			Intermedia	2	9,1	0,6	7,9	8,8	9,1	9,6	10,7	6,2	
El Rosario	Cenicafé 1	7	Mitaca	Inicial	22	9,1	0,6	7,2	8,7	9,0	9,4	12,3	6,5
			Mitaca	Intermedia	22	9,0	0,7	7,2	8,6	9,0	9,4	12,2	7,2
			Principal	Final	18	9,2	0,6	7,2	8,8	9,2	9,5	13,3	6,8
			Principal	Intermedia	18	9,5	0,7	6,0	9,0	9,5	9,9	15,3	7,9
El Tambo	Castillo® El Tambo	5	Mitaca	Final	15	9,0	0,6	5,3	8,6	9,0	9,3	10,9	6,4
			Mitaca	Intermedia	15	9,2	0,6	6,5	8,9	9,2	9,5	13,1	6,4
			Principal	Final	15	8,8	0,6	7,2	8,5	8,9	9,2	11,4	6,9
			Principal	Intermedia	15	9,0	0,6	4,3	8,7	9,0	9,5	12,2	6,5
	Cenicafé 1	3	Mitaca	Final	9	9,2	0,6	5,1	8,8	9,2	9,6	11,1	6,8
			Mitaca	Intermedia	9	9,3	0,7	5,2	9,0	9,3	9,7	12,7	7,2
			Principal	Inicial	9	9,1	0,5	5,2	8,8	9,1	9,4	10,5	6,0
Principal	Intermedia	9	9,0	0,6	5,0	8,7	9,1	9,4	11,1	6,9			

mm, 5,9 mm y 5,7 mm, respectivamente. No obstante, la variedad Cenicafé 1 en un pase inicial de una cosecha de mitaca tuvo el máximo observado de 16,4 mm de espesor, mientras que, para El Tambo y El Rosario, se obtuvo en una cosecha principal con 11,5 mm y 13,0 mm. Por otro lado, el máximo observado en granos de café despulpado de las variedades Castillo® Norte, Centro y Sur de la localidad de Naranjal, fluctuaron entre 7,9 mm y 10 mm, y para Castillo® El Tambo, Castillo® General y Castillo® El Rosario se observó un máximo de 9,9 mm, 7,8 mm y 7,0 mm (Tabla 4).

La Tabla 5 muestra las diferencias entre pases de cosecha para cada localidad, para el espesor del grano despulpado la localidad de El Tambo no se evidenciaron diferencias entre pases de cosecha. Para las localidades de Naranjal y El Rosario, estadísticamente se obtuvo el mayor espesor en el pase de cosecha final e intermedio con 6,26 mm y 5,75 mm, respectivamente. En contraste, el ancho del grano despulpado solo demostró diferencias entre pases de cosecha en la localidad de El Rosario, donde en un pase intermedio se presentaron en promedio el mayor ancho respecto al pase inicial e intermedio, y en cuanto al largo del grano, se evidenció el mayor largo estadísticamente en un pase de cosecha intermedio, mientras que, para la localidad de El Tambo, este se dio en un pase de cosecha final.

Análisis conjunto de las dimensiones físicas del grano despulpado

Cuando se hace mención al análisis conjunto de datos, se hace referencia a la utilización de procedimientos de análisis multivariados, con el fin de estudiar de manera simultánea las relaciones entre las variables. Dentro del análisis multivariado está el análisis de componentes principales, que explica la

varianza en un conjunto de datos sin hacer referencia a etiquetas de clase. Usualmente es aplicado cuando se busca comprender una relación entre los elementos de una población y se sospecha que en dicha relación influye de manera desconocida un conjunto de variables o propiedades de los elementos (Montenegro-Gracia et al., 2021).

Es así, como en el análisis de componentes principales, la primera componente explica el 65,1% de la variabilidad de los datos, mientras que la segunda componente explica el 33%, para una variabilidad explicada acumulada del 98,1%. La componente 1 está asociada al ancho y espesor del grano despulpado, mientras que el largo del grano, hace parte de la segunda componente, como se observa en la Figura 2. Al mismo tiempo, independientemente del pase de cosecha, los granos de las variedades de Cenicafé 1 y Castillo® Zona Centro, Norte y Sur establecidas en Naranjal, presentan descriptivamente en promedio un mayor ancho (9,7 mm) y espesor (6,09 mm) respecto a las variedades de Castillo® El Rosario, Cenicafé 1 y Castillo® General, establecidas en la localidad de El Rosario, con un ancho y espesor de 9,2 mm y 5,76 mm, mientras que en la localidad de El Tambo, en Cenicafé 1 y Castillo® El Tambo estos valores fueron de 9,1 mm y 5,65 mm. En cuanto al largo del grano, la localidad de El Rosario presentó en promedio descriptivamente un mayor largo del grano despulpado con 13,41 mm, respecto a Naranjal y El Tambo con 13,16 y 12,95 mm.

Retención de café despulpado por zaranda en el beneficio tradicional de café

Considerando que el espesor del grano es la variable determinante en la clasificación por medio de la zaranda, que permite el paso del café despulpado de buena calidad, se muestran varios escenarios por localidad del porcentaje de café despulpado en buen estado, que sería

Tabla 4. Estadísticas para la variable espesor del grano despulpado, por localidad, variedad, cosecha y pase.

Localidad	Variedad	Lotes por variedad	Cosecha	Pase	Pases por cosecha	Media	Desv	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.	CV
Naranjal	Castillo® Zona Centro	2	Mitaca	Inicial	5	6,1	0,5	5,1	5,8	6,0	6,3	7,9	7,9
			Mitaca	Intermedia	5	6,0	0,5	5,0	5,7	5,9	6,3	8,6	8,7
			Principal	Intermedia	5	6,1	0,5	4,5	5,8	6,0	6,3	10,0	9,0
	Castillo® Zona Norte	2	Mitaca	Intermedia	3	6,0	0,5	5,0	5,7	6,0	6,2	8,0	7,6
			Principal	Intermedia	2	6,3	0,6	5,3	5,9	6,1	6,6	9,2	9,7
	Castillo® Zona Sur	1	Mitaca	Intermedia	2	6,1	0,5	5,2	5,8	6,0	6,4	8,2	8,6
			Principal	Intermedia	1	5,8	0,4	5,2	5,7	5,8	6,0	7,9	6,3
	Cenicafé 1	6	Mitaca	Inicial	21	6,1	0,6	4,9	5,8	6,1	6,3	16,4	9,8
			Mitaca	Intermedia	21	6,0	0,5	4,9	5,7	5,9	6,2	10,0	8,4
			Principal	Final	12	6,3	0,6	5,5	5,9	6,1	6,4	8,8	10,2
			Principal	Intermedia	12	6,2	0,6	2,2	5,9	6,1	6,4	10,1	9,4
	Castillo® El Rosario	1	Principal	Intermedia	1	5,4	0,6	4,2	5,0	5,4	5,8	7,0	11,0
Principal			Intermedia	2	5,6	0,4	4,8	5,4	5,6	5,8	7,8	7,0	
El Rosario	Cenicafé 1	7	Mitaca	Inicial	22	5,7	0,5	4,5	5,5	5,7	5,9	9,1	8,3
			Mitaca	Intermedia	22	5,7	0,5	4,1	5,4	5,7	5,9	8,3	8,3
			Principal	Final	18	5,8	0,5	4,4	5,5	5,7	6,0	11,5	8,8
			Principal	Intermedia	18	5,9	0,5	4,5	5,6	5,9	6,1	9,6	8,8
El Tambo	Castillo® El Tambo	5	Mitaca	Final	15	5,6	0,5	4,4	5,3	5,5	5,8	9,5	8,3
			Mitaca	Intermedia	15	5,6	0,5	4,6	5,4	5,6	5,8	9,2	8,2
			Principal	Final	15	5,7	0,6	4,5	5,3	5,7	6,0	7,3	10,3
			Principal	Intermedia	15	5,6	0,6	4,0	5,3	5,6	5,9	9,9	10,0
	Cenicafé 1	3	Mitaca	Final	9	5,7	0,5	4,4	5,4	5,6	5,9	10,6	9,2
			Mitaca	Intermedia	9	5,7	0,6	4,0	5,4	5,6	5,9	9,4	10,4
			Principal	Inicial	9	5,6	0,4	4,1	5,4	5,6	5,8	7,4	7,2
Principal	Intermedia	9	5,7	0,7	4,3	5,4	5,6	5,9	13,0	13,0			

Tabla 5. Promedio y desviación estándar para el ancho, largo y espesor del grano despulpado, por localidad y pase de cosecha.

Localidad	Variable	Pase de cosecha	Media		Desv
Naranjal	Espesor	Inicial	6,10	B	0,57
		Intermedia	6,09	B	0,54
		Final	6,26	A	0,64
	Largo	Inicial	13,16	A	0,80
		Intermedia	13,17	A	0,91
		Final	13,30	A	0,78
	Ancho	Inicial	9,79	A	0,56
		Intermedia	9,72	A	0,62
		Final	9,77	A	0,53
El Rosario	Espesor	Inicial	5,72	B	0,47
		Intermedia	5,76	A	0,51
		Final	5,74	BA	0,50
	Largo	Inicial	13,13	C	0,91
		Intermedia	13,51	A	1,06
		Final	13,40	B	0,92
	Ancho	Inicial	9,07	C	0,58
		Intermedia	9,20	A	0,72
		Final	9,14	B	0,64
El Tambo	Espesor	Inicial	5,62	A	0,40
		Intermedia	5,66	A	0,59
		Final	5,64	A	0,50
	Largo	Inicial	12,61	C	0,89
		Intermedia	12,94	B	0,99
		Final	13,05	A	0,95
	Ancho	Inicial	9,07	A	0,55
		Intermedia	9,10	A	0,61
		Final	9,04	A	0,60

Para cada localidad y variable, letras no comunes indican diferencias estadísticamente significativas según prueba t al 5%.

considerado como rechazo utilizando una zaranda con agujeros oblongos desde los 7,0 a los 8,0 mm. Esto es, si se tiene una zaranda con aberturas oblongas de 7,5 mm de ancho,

como resultado, se esperaría una retención del 2,5% de granos de café despulpado para la Estación Naranjal, un 1,0% para la Estación El Rosario y 0,7% para El Tambo (Figura 3).

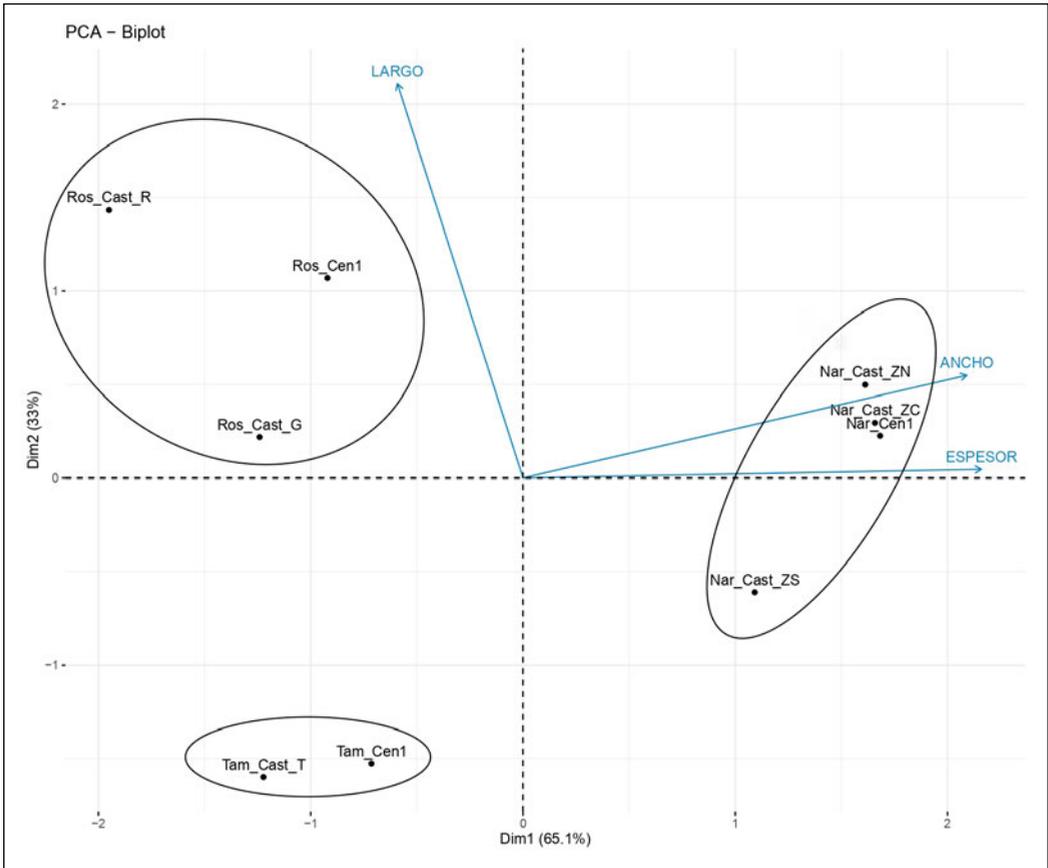


Figura 2. Análisis de componentes para el largo, ancho y espesor del grano despulpaado.

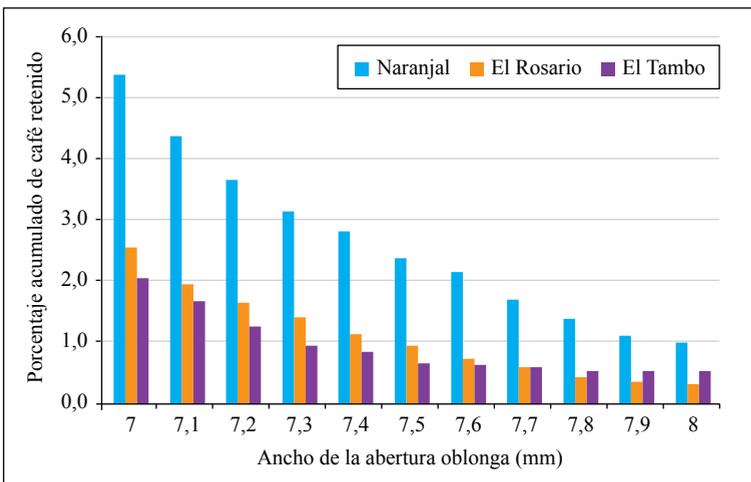


Figura 3. Porcentaje esperado de café retenido en diferentes aberturas oblongas por localidad.

En consecuencia, la Tabla 6 muestra el porcentaje de café retenido por localidad, variedad, cosecha y pase, tomando como referencia el punto mínimo de clasificación (7,0 mm), donde se observa:

- Para la localidad de Naranjal, la variedad Castillo® Zona Centro y Sur en un pase intermedio de una cosecha de mitaca se dió la mayor retención porcentual de café despulpado con 7,0% y 6,0%, respectivamente, mientras que, para Castillo Zona Norte, el mayor porcentaje de café despulpado retenido se dió en un pase principal de una cosecha principal con 8,5%.
- Para la variedad Cenicafé 1, en un pase final de una cosecha principal pudo retenerse hasta un 10% de café despulpado de buena calidad.

- En El Rosario, la variedad Cenicafé 1 pudo alcanzar un porcentaje de café retenido entre el 2,2% y 4,0% dados en una cosecha principal de un pase intermedio y final, respectivamente.

- Para la localidad de El Tambo, la variedad Castillo® El Tambo no superó el 2,0% de café despulpado retenido, mientras que para Cenicafé 1 pudo alcanzar hasta un 5,3% en un pase intermedio de una cosecha de mitaca.

Pueda concluirse que, a partir de las metodologías aplicadas para la caracterización y comparación del grano despulpado de café, se obtuvo que, el largo del grano independiente de la localidad, fluctuó en promedio entre 12,6 mm y 14 mm, el ancho del grano estuvo entre 8,8 mm y 9,8 mm, y el espesor del grano entre 5,4 mm y 6,3 mm.

Tabla 6. Porcentaje de café despulpado retenido por localidad, variedad, cosecha y pase.

Localidad	Variedad	Lotes	Cosecha	Pase	Porcentaje
Naranjal	Castillo® Zona Centro	2	Mitaca	Inicial	4,5
			Mitaca	Intermedia	6,0
			Principal	Intermedia	4,2
			Principal	Intermedia	4,2
	Castillo® Zona Norte	2	Mitaca	Intermedia	3,7
			Principal	Intermedia	8,5
	Castillo® Zona Sur	1	Mitaca	Intermedia	7,0
			Principal	Intermedia	2,0
			Mitaca	Inicial	3,3
			Mitaca	Intermedia	4,7
Cenicafé 1	6	Principal	Final	10,0	
		Principal	Intermedia	7,5	
		Principal	Intermedia	7,5	

Continúa...

...continuación.

Localidad	Variiedad	Lotes	Cosecha	Pase	Porcentaje
El Rosario	Castillo® General	1	Principal	Intermedia	1,0
			Mitaca	Inicial	2,7
	Cenicafé 1	7	Mitaca	Intermedia	2,8
			Principal	Final	2,2
			Principal	Intermedia	4,0
El Tambo	Castillo® El Tambo	5	Mitaca	Final	1,4
			Mitaca	Intermedia	1,6
			Principal	Final	2,0
			Principal	Intermedia	2,0
	Cenicafé 1	3	Mitaca	Final	1,8
			Mitaca	Intermedia	5,3
			Principal	Inicial	0,7
Principal	Intermedia	3,0			

El porcentaje de café despulpado de buena calidad que se clasificaría como café rechazado varió por localidad, variedad y pase de cosecha, siendo así, la localidad de Naranjal con el mayor porcentaje de retención (5,4%), seguida de la localidad de El Rosario (2,6%) y El Tambo (2,1%). Así mismo, se observó que la variedad Cenicafé 1 es la variedad en la cual se retuvo el mayor porcentaje de café despulpado y pudo alcanzar un 10,0%, 4,0% y 5,3% en las localidades de Naranjal, El Rosario y El Tambo, respectivamente, por su tamaño de grano.

Este trabajo presenta una alerta económica para los caficultores, pues en la selección del ancho de las perforaciones de la zaranda pueden incluirse pérdidas considerables en la producción de café. Este trabajo abre la puerta

para trabajos futuros en los que se totalicen las pérdidas en las que incurren los caficultores con una mala selección de las aberturas de la zaranda y en el establecimiento de estrategias para disminuir las pérdidas.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). En la disciplina de experimentación a Carlos Gonzalo Mejía Mejía, Hernán Darío Menza Franco, Carlos Mario Ospina Penagos y a Jhon Félix Trejos Pinzón. En la disciplina de Biometría a Beatriz Eugenia Mira Rada. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Crossref Funder ID 100019597), proyecto número BIO103004.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: **LCI, RMR y JRS**;
Curación de datos, Investigación, Visualización,
Redacción- borrador original: **LCI**; Análisis

formal, Metodología, Validación: **LCI, RMR**;
Administración de proyecto, Redacción-
revisión y edición: **LCI, RMR y JRS**;
Adquisición de fondos: **RMR**; Todos los
autores han leído y aceptado la versión
publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alvarado-Alvarado, G., Posada-Suárez, H. E., Cortina-Guerrero, H. A., Duque-Orrego, H., Rincón, J. V. B., & Martínez, O. G. (2005). La Variedad Castillo El Rosario para las regiones cafeteras de Antioquia, Risaralda y Caldas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 340, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0340>
- Aristizabál, C., & Duque-Orrego, H. (2005). Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Revista Cenicafé*, 56(4), 299–318. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29299-318.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2004). *Cartilla Cafetera 20: Beneficio del café I: Despulpado, remoción del mucilago y lavado*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_20_beneficio_del_cafe.pdf
- Flórez, C. P., Arias, J. C., Cortina, H. A., Moncada, M. del P., Quiroga-Cardona, J., Molina, D. M., & García-López, J. C. (2018). Variedades Castillo® Zonales. Resistencia a la roya con mayor productividad. *Avances Técnicos Cenicafé*, 489, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0489>
- Flórez, C. P., Maldonado, C. E., Cortina, H. A., Moncada, M. del P., Montoya, E. C., Ibarra, L. N., Unigarro, C. A., Rendón, J. R., & Duque Orrego, H. (2016). Cenicafé I: Nueva variedad de porte bajo altamente productiva resistente a la roya y al CBD con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0469>
- Montenegro-Gracia, E. J., Pitti-Rodríguez, J. E., Olivares-Campos, B. O., Montenegro-Gracia, E. J., Pitti-Rodríguez, J. E., & Olivares-Campos, B. O. (2021). Identificación de los principales cultivos de subsistencia del Teribe: Un estudio de caso basado en técnicas multivariadas. *Idesia (Arica)*, 39(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300083>
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena-Gómez, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Revista Cenicafé*, 59(2), 120–142. <http://hdl.handle.net/10778/59>
- Muñoz Moreno, D. F., & Noguera Ortiz, M. (2016). *Evaluación de las propiedades físicas y factores de conversión de café variedad Castillo y Colombia (Coffea arabica L.) durante el proceso de beneficio y trilla, a diferentes alturas sobre el nivel del mar en fincas cafeteras el municipio de Colón, departamento de Nariño*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/12141>
- Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz-Uribe, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 33, 99–114.
- Posada-Suárez, H. E., Alvarado-Alvarado, G., Cortina-Guerrero, H. A., Solarte, C. R., Duque-Orrego, H., Baldión-Rincón, J. V., & Guzmán-Martínez, O. (2006). La VARIEDAD CASTILLO® EL TAMBO: para regiones cafeteras de Cauca, Nariño, Huila, Tolima y Valle del Cauca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 344, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0344>
- Roa, G., Oliveros, C. E., Alvarez, J., Ramirez, C. A., Sanz, J. R., Davila, M. T., Alvarez, J. R., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodriguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/882>

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.
Wílmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y
Desarrollo de Sistemas de Información
Jorge Alejandro Builes P., Tecnólogo en Sistemas
Luis Gonzaga Henao R.
Jeison Alexander Hoyos G., Técnico en Informática

Biometría

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

Calidad

Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp., Ph.D. 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
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.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo
Juan David Gil G., 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
Santiago Hernando Rengifo R., 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.
José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción
Agropecuaria
Sergio Alejandro Valencia A., Tecnólogo en Gestión de
Empresas Agropecuarias
Jorge Dicksson Ocampo M.
José Gilmar Carmona V.
Ana Sofía Henao D., Aprendiz
Camila Andrea Gutiérrez G., Aprendiz

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
Lorena Quintero R., 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
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
Cristian Camilo Arboleda O., Pasante
Cristian David Rendón L., Pasante
Isabela Velásquez 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
Juan Manuel Rendón R. Tecnólogo Químico
Jaroliver Cardona G.

EXPERIMENTACIÓN

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

Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc. en sistemas de producción Agropecuaria
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Maffi Julieth Arias B., Aprendiz

Estación Experimental El Rosario

León Darío Caicedo R., Agrónomo, Esp.

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental La Catalina

Héctor Flabio Álvarez A., Ing. Agrónomo

Estación Experimental La Trinidad

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental 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
Manuela Scalzo S., Pasante
Stefany Ramírez C., Pasante

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, M.Sc.
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp.
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.
Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas
Silvana Serrano G., 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.
Natalia Galeano G., 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, Esp.
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.
Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico
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., Ing. Industrial
Oscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad
Industrial
Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café
Albert Johane Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica–
Técnico en Instalaciones de Redes Internas
Freddy Alexander Sánchez O.

Uriel López P.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Carlos Andrés Hernández G.
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
Caroline Galvez G., Pasante
Leydi Tatiana Arboleda S., 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, Esp.
Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas

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

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 m^3s^{-1} , que podría indicar milisegundos).
- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - El rendimiento en peso seco fue de $5\text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, y no $5\text{ g de peso seco}\cdot\text{día}^{-1}$
 - Se aplicaron $25\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ del ingrediente activo, y no $25\text{ g i.a.}/\text{ha}$
 - Cada planta recibió $20\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de agua, y no $20\text{ g H}_2\text{O}/\text{ha}$ por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: $10\text{ °C}/\text{h}$ ó $10\text{ L}/\text{materia}$).
- 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 $14\text{ y }20\text{ °C}$ 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

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