

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

Cenicafé

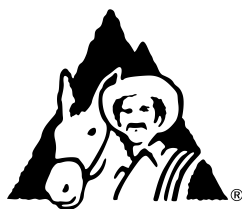
Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Volumen 73 Número 2

Julio - Diciembre 2022



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

José Antonio Ocampo Gaviria

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Cecilia López Montaña

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Germán Umaña Mendoza

Director del Departamento Nacional de Planeación

Jorge Iván González

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Marcela Urueña Gómez

Período 1° enero/2019 - 31 diciembre/2022

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Daniilo 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)

Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo y Financiero

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Juan Camilo Ramos Mejía

Gerente Técnico

Hernando Duque Orrego

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.cenicafe73-2>

Editada en diciembre de 2022

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. 73

JULIO - DICIEMBRE 2022

No. 2

CONTENIDO

EFFECTO DE LA INTERRUPCIÓN DEL SECADO MECÁNICO EN LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ. Jenny Pabón Usaquén; Valentina Osorio Pérez	7
EFFECT OF MECHANICAL DRYING DISRUPTION ON THE PHYSICAL AND SENSORY QUALITY OF COFFEE	7
EFFECTO DEL MANEJO DE FRUTOS VERDES DE CAFÉ, PREVIO AL PROCESO DE BENEFICIO, EN SU CALIDAD FÍSICA. Laura Vanessa Quintero Yepes; Nelson Rodríguez Valencia	19
EFFECT OF GREEN COFFEE BERRIES MANAGEMENT, PRIOR TO COFFEE PROCESSING, ON THEIR PHYSICAL QUALITY	19
EFFECTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN EL ALMACENAMIENTO DE LA SEMILLA <i>Coffea arabica</i> L. Melsar Danilo Santamaría Burgos	32
EFFECT OF THE PACKING MATERIAL ON THE STORAGE OF THE SEED <i>Coffea arabica</i> L.	32
EFFECTO DEL SECADO CON COMBUSTIÓN DIRECTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE CAFÉ. Laura Vanessa Quintero Yepes; Nelson Rodríguez Valencia; Aristófeles Ortiz	41
EFFECT OF DRYING WITH DIRECT COMBUSTION OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE COFFEE BEAN	41
PREDICCIÓN DEL ORIGEN REGIONAL DEL CAFÉ DE COLOMBIA A PARTIR DE LA TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO NIRS. Claudia Rocío Gómez Parra; Aristófeles Ortiz; Valentina Osorio Pérez	55
REGIONAL ORIGIN PREDICTION OF COLOMBIAN COFFEE FROM THE NIRS NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY TECHNIQUE	55
SECADO SOLAR DE CAFÉ USANDO DIFERENTES TIPOS DE CUBIERTAS PLÁSTICAS. Aída Esther Peñuela-Martínez; María Valentina Restrepo Rivera; Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá	69
SOLAR COFFEE DRYING USING DIFFERENT TYPES OF PLASTIC COVERS	69
VISITANTES FLORALES DE <i>Ochroma pyramidale</i> EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ Y COBERTURA NATURAL EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. Rocío Espinosa Aldana; Zulma Nancy Gil Palacio; Pablo Benavides Machado	86
FLOWER VISITORS OF <i>Ochroma pyramidale</i> IN AGROFORESTRY SYSTEMS WITH COFFEE AND NATURAL COVER IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER	86



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

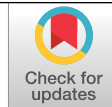
REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 73 NO 1 Y NO 2

Álvaro L. Gaitán B.	Ph.D. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Hernando Duque O.	M.Sc. Gerencia Técnica (FNC)
Pablo Benavides M.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Siavosh Sadeghian Kh.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Aída E. Peñuela M.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Hernán González O.	Ph.D. Cenicafé.
Nelson Rodríguez V.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Jenny Paola Pabón U.	M.Sc. Cenicafé, FNC
Aristóteles Ortiz.	M.Sc. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino Ch.	M.Sc. Cenicafé, FNC
Jhon Félix Trejos P.	Ing. Agr. Cenicafé, FNC
Andrés Felipe León B.	Ing. Agr. Cenicafé, FNC
Luz Fanny Echeverry.	Tec. Químico, Cenicafé, FNC
Raúl Jaime Hernández.	Director Gestión Ambiental, FNC.
Rodrigo Alarcón Suárez.	Quality Coffee Assurance Office. Almacafé, FNC
Fernando Arturo Osorio R.	Director Oficina Calidad de Café, Almacafé, FNC
Silvia Inés Tobón F.	Gerente CAFECERT
Andrés Fernando Valencia.	Coordinador del laboratorio Ritual del Café, Comité de Caldas
Nohra Rodríguez C.	Ph.D. Universidad del Valle
Iván Darío Aristizábal.	Ph.D. Universidad Nacional sede Medellín.
Alfonso Parra C.	Ph.D. Universidad Nacional de Colombia
Robinson Osorio H.	Ph.D. Universidad Nacional de Colombia
Fermín Chamorro G.	Ph.D. Ecología y Recursos Naturales
Andrea Amelia Ramos P.	Ph.D. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA
Juan Carlos Menjivar F.	Ph.D. Universidad Nacional de Colombia
Yina Jazbleidi Puentes P.	Ph.D. Independiente
Laura Victoria Pérez M.	Ph.D(c). Western Sydney University
Fernando Álvarez M.	M.Sc. Universidad Nacional sede Medellín
Lady Johanna Mazabel P.	Química, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT
Manuel Alfonso Patiño M.	Ing. Agr., Agrosavia
Miguel Alfonso Castiblanco C.	Profesional en Bibliotecología e Ingeniero de Sistemas, Cenicafé, FNC

EFFECTO DE LA INTERRUPCIÓN DEL SECADO MECÁNICO EN LA CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ

Jenny Pabón Usaquén  *, Valentina Osorio Pérez  *

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>



El secado es una etapa clave para la conservación de la calidad del café durante el almacenamiento y la trilla, es así como prácticas inadecuadas pueden tener impactos negativos tanto en la apariencia del grano como en la generación de defectos sensoriales. El presente trabajo evaluó el efecto de la interrupción del secado mecánico bajo un diseño factorial $2 \times 4 + 1$, con dos tiempos de secado inicial (6 y 12 horas), cuatro tiempos de interrupción (12, 24, 36 y 48 horas) y un testigo con secado mecánico sin interrupción. Para los tratamientos con interrupción se determinó el contenido de humedad intermedia del café pergamino. Se observó que en promedio cuando se aplicó un tiempo de secado de 12 horas se alcanza a disminuir el contenido de humedad a valores de 42,29%, con diferencias de 4,97% y 9,90% con los tratamientos de secado de 6 horas y humedad inicial del café lavado, respectivamente. Para la variable almendra sana se obtuvo un valor promedio de 76,76% y no hubo diferencias entre los tratamientos. En cuanto a la proporción de muestras con defecto sensorial, independiente del tiempo de secado inicial, después de 36 horas de interrupción se incrementa la proporción de defectos sensoriales. El análisis de varianza mostró efecto sobre las variables de calidad sensorial a favor del testigo que no presentó defectos y tuvo puntaje promedio de 81,15. El defecto predominante fue terroso y, según prueba de Dunnett, los tratamientos de menor tiempo de secado inicial y mayor interrupción son diferentes al testigo.

Palabras clave: *Coffea arabica*, secado mecánico, almendra sana, calidad, interrupción, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF MECHANICAL DRYING DISRUPTION ON THE PHYSICAL AND SENSORY QUALITY OF COFFEE

Drying is a key stage for the preservation of coffee quality during storage and threshing. Thus, inappropriate practices can have negative impacts on the appearance of the bean and generate sensory defects. The present study evaluated the effect of the interruption of mechanical drying under a $2 \times 4 + 1$ factorial design, with two initial drying times (6 and 12 hours), four interruption times (12, 24, 36 and 48 hours) and a control with mechanical drying without interruption. Intermediate moisture content of parchment coffee was determined for interrupted treatments. On average, when a drying time of 12 hours was used, the moisture content was reduced to 42.29%, with differences of 4.97% and 9.9% with the 6-hour drying treatments and the initial humidity of the washed coffee, respectively. For the healthy green bean variable, an average value of 76.76% was obtained and there were no differences between the treatments. As for the proportion of samples with sensory defect, regardless of the initial drying time, after 36 hours of interruption, the proportion of sensory defects increased. The analysis of variance showed an effect on the sensory quality variables in favor of the non-defect control and had an average score of 81.15. The predominant defect was musty and, according to Dunnett's test, the treatments of shorter initial drying time and longer interruption are different from the control.

Keywords: *Coffea arabica*, mechanical drying, healthy green coffee, quality, interruption, Cenicafé, Colombia.

* Asistente de Investigación e Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>, <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>



La calidad del café es el resultado de la interacción de factores como: la especie, la variedad, las condiciones ambientales, el suelo, el clima, el sistema productivo, las prácticas de cosecha, el beneficio, el almacenamiento, la trilla, el tueste y la preparación de la bebida (Kleinwächter et al., 2015; Pabón & Osorio, 2019; Pereira et al., 2019; Puerta, 2013).

En el proceso de beneficio por vía húmeda ampliamente utilizado en Colombia y en otros países productores, se obtiene café pergamino lavado con un valor promedio de humedad de 53% en base húmeda (b.h.), el cual no se encuentra en condiciones adecuadas para su almacenamiento y posterior comercialización, por lo que es necesario reducir la humedad y la actividad de agua de los granos (Roa et al., 1999). En Colombia el secado se realiza por medios naturales utilizando la energía solar y el aire, y por medios mecánicos con aireación forzada, para alcanzar una humedad en un rango de 10% al 12% en base húmeda.

El secado mecánico del café se realiza en sistemas constituidos por una fuente de calor que en algunos casos cuentan con un intercambiador de calor, un ventilador y un espacio o *plenum* donde se deposita la masa de granos de café para el secado. El principal mecanismo utilizado en Colombia para realizar secado mecánico son los silos de capa estática, los cuales constan de un secador con uno o más compartimientos con piso de malla sobre el cual es depositado el grano; para el calentamiento del aire se han diseñado equipos que emplean principalmente: electricidad, gas propano y cisco de café (Parra et al., 2017). Cenicafé recomienda emplear un caudal mínimo de 100 m³ min⁻¹ para obtener buena eficiencia en el proceso de secado y lograr una humedad final uniforme (Parra et al., 2017). Según Bórem (2014) y Marques et al. (2008), el tiempo de exposición, la temperatura y el caudal del aire de secado, el contenido de humedad inicial y

final del producto, así como la temperatura del aire ambiente, son factores que afectan a la dinámica de secado y tienen un efecto significativo en la calidad del café.

En el proceso de secado intervienen muchas variables que deben controlarse para que el este proceso sea eficiente y no afecte la calidad final del producto. Varios autores reportan que temperaturas superiores a 60°C ocasionan daños estructurales, que pueden deteriorar la calidad (Borém et al., 2014; Coradi et al., 2007). En el caso de las semillas, estas deben conservar un alto porcentaje de germinación y las altas temperaturas afectan el germen o embrión; por lo tanto, para garantizar la viabilidad de las semillas, se recomienda que la temperatura del grano no sobrepase los 38°C durante el secado. Así mismo, con el fin de asegurar una buena calidad, se recomienda secar los granos a temperaturas que no superen los 50°C (Roa et al., 2000). En el secado mecánico de capa estática, la temperatura del aire se eleva a valores de 50°C, disminuyendo la humedad relativa a valores inferiores del 20% y cuando se emplea un caudal mínimo de 100 m³ min⁻¹ de café pergamino seco, recomendado por Cenicafé, se tienen condiciones que permiten secar el café en un tiempo alrededor de 20 h (Parra et al., 2008). El secado mecánico es una alternativa para reducir la humedad del café, que es empleada por medianos y grandes caficultores, se estima que el 31% de la producción anual nacional se seca empleando esta tecnología (Parra et al., 2017). Adicionalmente, cuando se aplica el secado mecánico de forma adecuada y siguiendo las recomendaciones técnicas de flujo de aire y temperatura de secado, la calidad final del producto es similar al obtenido con secado solar.

Henao (2016) evaluó el efecto del secado en la calidad del café en las variedades Caturra y Castillo®, con dos temperaturas de secado

(40°C y 50°C), dos flujos de aire (60 y 100 m³ min⁻¹) y un tratamiento de secado solar. Los puntajes más altos de calidad sensorial fueron obtenidos en el café secado mecánicamente con una temperatura de 50°C y un flujo de 100 m³ min⁻¹, sin diferencias significativas en el puntaje sensorial entre las variedades Caturra y Castillo®.

Comercialmente existen silos mecánicos de una capacidad de 62,5 kg de café pergamino seco (cps) hasta 9.000 kg de cps. Esta forma de secado es una alternativa en la cual puede controlarse el proceso, independiente de las condiciones ambientales, disminuir el tiempo de secado y obtener un producto estable para su almacenamiento y comercialización.

Sin embargo, la insuficiencia del aire de secado, el empleo de altas temperaturas, la desuniformidad de la humedad final de secado (Gutiérrez et al., 2012; Roa et al., 2000) y algunas prácticas durante el secado mecánico, han conllevado a la aparición de defectos físicos que afectan el factor de rendimiento y que tienen influencia directa en la calidad sensorial. La interrupción del proceso de secado es una práctica que ha tomado fuerza como una actividad que permite una distribución más homogénea del agua dentro del grano con el fin de obtener una mejor calidad de este (Isquierdo, et al., 2011); sin embargo, hasta el momento no se ha evaluado la influencia de las interrupciones durante el secado mecánico en la calidad del café. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la interrupción del secado mecánico sobre la calidad sensorial del café y la aparición de defectos sensoriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se utilizó café de la Estación Experimental Naranjal, ubicada en Chinchiná (Caldas), de las cosechas principales de los años 2020 y 2021. El procesamiento

vía húmeda se realizó en el Beneficiadero de Semilla de Cenicafé. 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 18 kg de café lavado clasificado para la aplicación de los tratamientos. Para obtener el café lavado se realizó clasificación hidráulica de los frutos seguido de una selección manual por color; para asegurar el grado de madurez de los frutos de café, eliminando frutos pintones e inmaduros; se removió el mucilago por fermentación espontánea definiendo el punto de lavado del café con el Fermaestro™ y se realizó lavado manual del café con la técnica de cuatro enjuagues. Se tomaron cinco unidades experimentales por tratamiento. Cada unidad experimental y de acuerdo con el tratamiento, se procesó en un silo de capa estática con combustión directa, con gas propano como combustible, caudal del aire de 100 m³ min⁻¹ de cps y temperatura del aire de secado entre 38°C y 40°C. El café que fue sometido a interrupción, quedó en condiciones ambientales, las cuales fueron en promedio: temperatura de 21,46°C (máximo 29°C y mínimo 17,5°C) y humedad relativa de 86,08% (máximo 100% y mínimo de 53,24%).

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), con la variable de respuesta puntaje total determinado con metodología SCA.

Antes de iniciar el proceso de secado, en el momento de la interrupción y al finalizar el secado, se registró el contenido de humedad del café, utilizando el método directo de la estufa (International Organization for Standardization, 2003).

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 se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T12-24	12	24	Interrupción del secado mecánico a las 12 horas de iniciado el proceso por 24 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T12-36	12	36	Interrupción del secado mecánico a las 12 horas de iniciado el proceso por 36 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T12-48	12	48	Interrupción del secado mecánico a las 12 horas de iniciado el proceso por 48 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T6-12	6	12	Interrupción del secado mecánico a las 6 horas de iniciado el proceso por 12 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T6-24	6	24	Interrupción del secado mecánico a las 6 horas de iniciado el proceso por 24 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T6-36	6	36	Interrupción del secado mecánico a las 6 horas de iniciado el proceso por 36 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
T6-48	6	48	Interrupción del secado mecánico a las 6 horas de iniciado el proceso por 48 horas. Después se continúa hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y 12%.
Testigo	Proceso de secado mecánico sin interrupción hasta que el café alcance una humedad entre el 10% y el 12%.		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Duración del proceso de secado

Los análisis físicos del café pergamino seco se realizaron en el laboratorio de la Disciplina de Calidad de Cenicafé e incluyeron la determinación del porcentaje de merma, porcentaje de granos defectuosos y sanos, y la actividad de agua que se determinó con el equipo LabMaster-aw Neo (Novasina, Alemania). El análisis sensorial se realizó siguiendo el protocolo de la SCA (*Specialty Coffee Association*), por catadores certificados Q-Grader por el *Coffee Quality Institute*. El puntaje total SCA está conformado por la sumatoria de los atributos: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor y puntaje de catador, que se califican en una escala de 0 a 10. La suma de todas las puntuaciones da como resultado la puntuación total, en una escala de 0 a 100, en la que el café puede clasificarse como sobresaliente-especialidad (90,00-100), excelente-especialidad (85,00-89,99), muy bueno-especialidad (80,00-84,99) y por debajo de la calidad de la especialidad-no especialidad (menor a 80,00 puntos).

Se utilizaron como variables complementarias el porcentaje de almendra sana, porcentaje de pasillas (grano con defectos físicos) y actividad de agua. De los atributos sensoriales se analizaron fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance.

Para el análisis de la información se calcularon los promedios y variación por tratamiento, tanto de la variable de respuesta como de las variables complementarias. Se realizó un análisis de varianza al 5%, asociado al diseño completamente aleatorio. Para las variables en las que el análisis de varianza mostró efecto de tratamientos, se aplicó la prueba de Dunnett, al 5%, para identificar los tratamientos que tenían igual o mayor promedio con respecto al testigo absoluto.

Con el objetivo de conocer la duración aproximada del tiempo de secado y la influencia de los tiempos de interrupción de secado, en la Tabla 2 se presenta la duración en horas, desde el inicio de la aplicación de los tratamientos, hasta que el café de cada tratamiento alcanzaba la humedad entre el 10% y el 12%, y el secado finalizaba. Según el análisis de varianza (valor $p: 2,2 \times 10^{-16}$) el único tiempo diferente a los demás tratamientos fue el testigo (50,3 h).

Para realizar el control de este proceso se utilizó el principio del Gravimet, donde se hace el control de pérdida de peso y se relaciona con la humedad final requerida (Jurado et al., 2009).

Como se observa en la Tabla 2, el tratamiento que alcanzó más rápido la humedad final deseada fue el testigo, en el cual no hubo interrupciones del secado y en promedio tuvo una duración de 50 horas. El tratamiento T6-T48 presentó un incremento del tiempo promedio de secado de un 84% con respecto al testigo, por ser el tratamiento de menor tiempo de secado inicial y mayor tiempo de interrupción.

Humedad del café (base húmeda)

En promedio, cuando se realizó el secado inicial de 12 horas la humedad se redujo a valores de 42,29%. A diferencia de los tratamientos donde se secó inicialmente por 6 h, la humedad sólo se redujo a valores de 47,26%. Los valores de humedad fueron determinados por el método directo de la estufa (Tabla 3). El testigo (sin interrupción) presentó un valor inicial de humedad de 52,2% y finalizó con un promedio de 11,22%.

Tabla 2. Duración en horas del tiempo de secado según el tratamiento.

Tratamiento	Duración secado (h)		
	Secado (h)	Interrupción (h)	Promedio* (h)
T12-12	12	12	69,7a
T12-24	12	24	80,8a
T12-36	12	36	82,3a
T12-48	12	48	89,7a
T6-12	6	12	67,0a
T6-24	6	24	76,3a
T6-36	6	36	81,0a
T6-48	6	48	92,0a
	Testigo		50,3b

*Letras no comunes indican diferencia según prueba Tukey al 95%

Tabla 3. Valores promedio de la humedad del café de cada tratamiento, antes y después de las interrupciones del secado.

Tratamiento	Humedad (%)		
	Antes	Después	Final
T12-12	42,68%	44,45%	11,08%
T12-24	41,72%	44,30%	11,08%
T12-36	42,43%	44,54%	11,12%
T12-48	42,36%	43,05%	11,04%
T6-12	45,46%	48,86%	11,15%
T6-24	47,22%	49,34%	11,08%
T6-36	47,92%	50,08%	11,10%
T6-48	48,47%	49,55%	11,36%

Como los valores de humedad eran altos y el café estuvo sometido a tiempos de interrupción, también se determinaron los valores de actividad de agua del café, antes y después de las interrupciones, así como al final cuando los granos de café alcanzaron la humedad entre el 10% y el 12%. La actividad de agua expresa 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). Para el café pergamino seco y excelso, bajo las mismas condiciones ambientales, cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la actividad de agua. 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). En la Figura 1 se presentan los valores de actividad de agua para los granos de café antes, después de la interrupción y del café pergamino seco.

con las condiciones en las cuales se encuentra almacenado. Debido a que en este trabajo se sometieron granos de café con contenidos de humedad intermedios en condiciones ambientales, durante 12, 24, 36 y 48 horas, se encontró que después de esos tiempos de interrupción, así como la humedad del grano aumentó los valores de actividad de agua incrementaron, esto es generado principalmente por la higroscopia del grano y las diferentes presiones de vapor del grano y del ambiente (Corrêa et al., 2010).

Calidad física

En la Tabla 4 se presentan los valores promedio de la proporción de merma, granos negros y vinagres y pasillas presentes en las muestras. El testigo en promedio tuvo una almendra sana de 76,76%. La interrupción del proceso de secado mecánico no generó aumentos en los defectos físicos asociados a esta etapa como son los granos flojos y cristalizados, puesto que el rango final de humedad se encontraba dentro del óptimo.

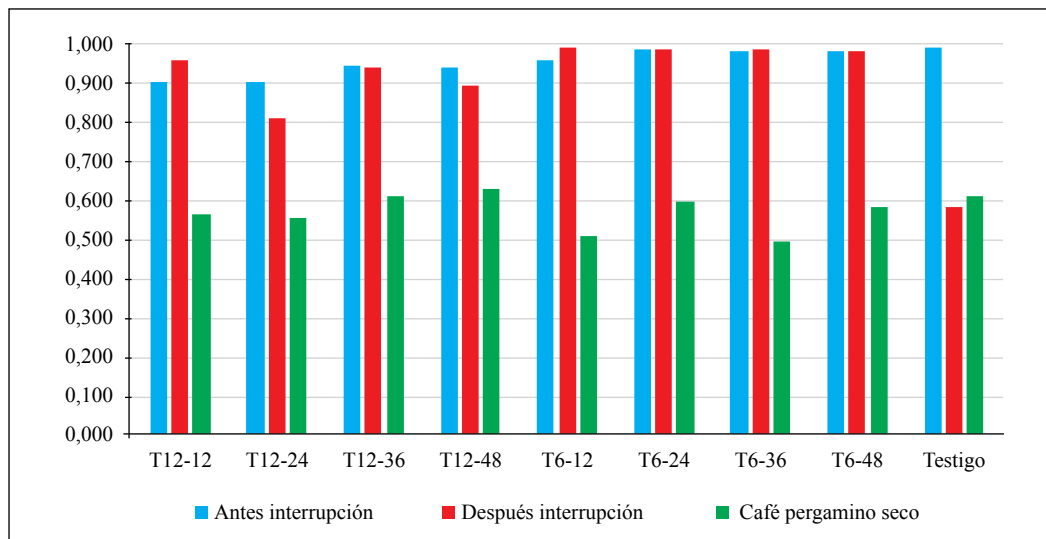


Figura 1. Valores de actividad de agua para cada tratamiento de interrupción de secado.

Tabla 4. Valores promedio de las variables de calidad física, por tratamiento de interrupción de secado.

Trat.	Merma (%)		Pasilla (%)		Broca (%)		Negro y vinagres (%)	
	Prom	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
T12-12	17,38	0,43	2,29	2,43	3,21	4,04	0,04	0,09
T12-24	17,57	0,34	2,05	2,35	3,49	4,11	0,00	0,00
T12-36	18,05	0,73	2,36	2,70	3,83	3,78	0,02	0,05
T12-48	17,46	0,63	3,87	2,82	3,50	3,86	0,02	0,05
T6-12	17,52	0,27	2,64	2,12	3,45	3,96	0,09	0,16
T6-24	17,55	0,48	2,71	3,24	4,16	3,33	0,10	0,18
T6-36	17,57	0,46	2,78	3,03	3,27	3,42	0,02	0,05
T6-48	17,46	0,57	2,87	3,19	2,95	3,46	0,00	0,00
Testigo	17,68	0,47	2,46	2,80	3,24	3,43	0,16	0,23

Prom: Promedio, D.E.: Desviación estándar

Para la variable almendra sana no hubo diferencias entre los tratamientos ni con el testigo, es decir que las interrupciones durante el secado mecánico no tienen efecto en esta variable (Tabla 5).

Calidad sensorial

La calidad sensorial se evaluó bajo la metodología de la SCA, por tres catadoras certificadas Q grader. En la Figura 2 se presenta la proporción de muestras con defecto sensorial. En esta investigación se encontró el descriptor terroso para el 100% de las muestras con defecto sensorial. Independiente del tiempo de secado inicial (6 o 12 horas), después de 36 horas de interrupción, la proporción de defectos se incrementa. En los tratamientos 7 y 8, el total de las unidades experimentales evaluadas

presentaron defectos sensoriales, asociados a los tiempos de interrupción. El testigo no presentó defectos, lo que indica que cuando se realiza el proceso de secado sin interrupción se conserva la calidad del café.

El defecto terroso en el análisis sensorial se encuentra dentro del grupo denominado terrosos, donde se encuentran: sucio, paja, moho y reposo. Se caracterizan por presentar un aroma y sabor a tierra húmeda, indeseable en el café arábigo; en algunos casos se asocia al hollejo de la papa (Pabón & Osorio, 2019). El origen de los defectos de este grupo está relacionado a malas prácticas de beneficio, tales como no realizar clasificación de los frutos en las diferentes etapas, prácticas inadecuadas de secado y almacenamiento del café (Osorio, 2021). Oliveros et al. (2016) determinaron que cuando se almacena café con

Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar para la proporción de almendra sana por tiempo de secado y tiempo de interrupción.

Horas de interrupción	Tiempo de secado inicial (h)			
	6		12	
	Prom.	D.E.	Prom.	D.E.
12	76,9	3,9	77,5	4,8
24	76,0	4,8	77,2	4,9
36	76,9	4,7	76,4	4,6
48	77,2	5,0	75,8	3,7
Sin interrupción	76,8	4,2	76,7	4,2

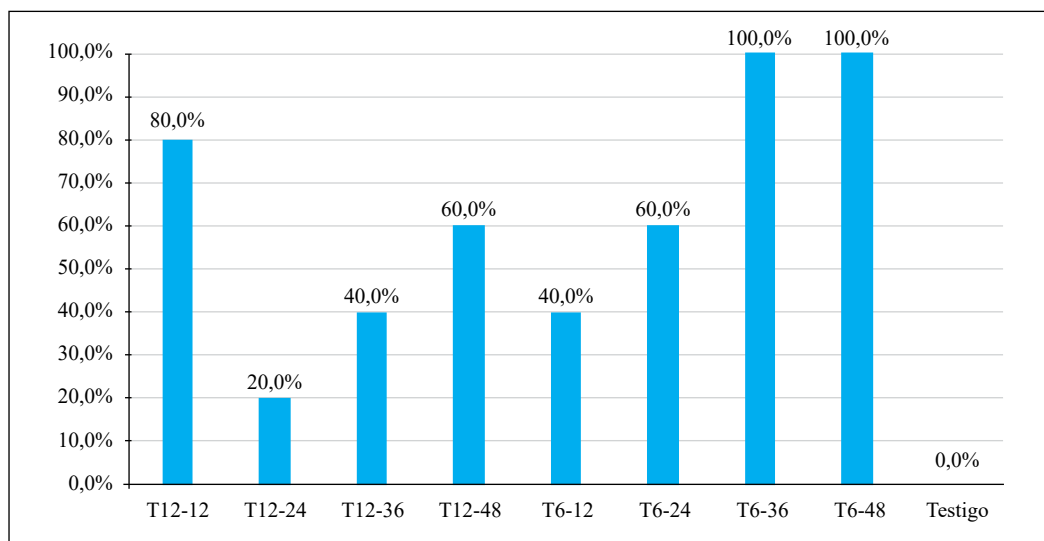


Figura 2. Proporción de muestras con defectos sensoriales, en tratamientos con interrupción de secado.

una humedad del 35% hasta por 96 horas no tiene efecto en la proporción de tazas limpias; sin embargo, no se había reportado el efecto negativo que tiene en la calidad sensorial, almacenar café con humedades superiores a 41%. El contenido de humedad con el que el café inicia la interrupción del secado define

el comportamiento en la calidad sensorial del mismo, según lo reportado por Borém et al. (2014), cuando el café es sometido a interrupciones durante el secado de hasta 12 días, con humedades antes de interrupción entre 15% y 24%, no generan efecto negativo en la calidad.

Cuando se analiza la variable puntaje total, por las horas de secado inicial, se observa que en los tratamientos con secado inicial de 6 horas existe un menor puntaje total, asociado a una mayor frecuencia de muestras con defectos sensoriales (Figura 3) y este

promedio disminuye a medida que aumenta el tiempo de interrupción.

Las muestras que no presentaron defectos presentaron en promedio un puntaje total entre 79,75 y 81,58 (Tabla 6).

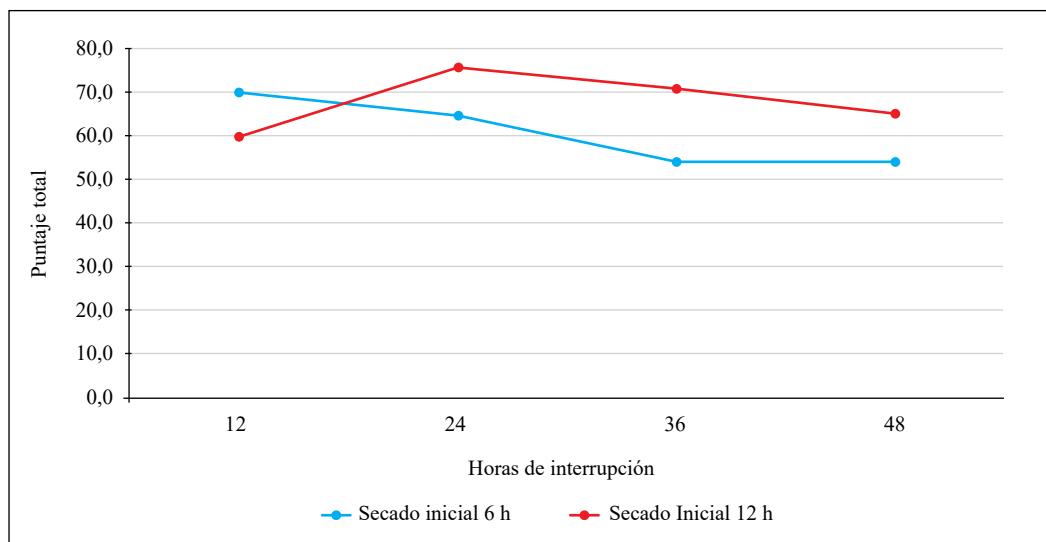


Figura 3. Valores de puntaje total por tiempos de secado y de interrupción.

Tabla 6. Puntaje total obtenido para los tratamientos que no presentaron defectos en el secado.

Tratamiento	Promedio	Máximo	Mínimo
T12-12	80,00	80,00	80,00
T12-24	80,57	81,30	80,00
T12-36	80,94	81,58	80,50
T12-48	80,67	80,83	80,50
T6-12	80,08	80,50	79,75
T6-24	79,66	80,07	79,25
Testigo	81,15	81,58	80,60

Según el análisis de varianza al 95%, para la variable de respuesta puntaje total hubo efecto de tratamientos (valor p: 0,0010) y cuando se realizó la prueba Dunnet con el 0,05 de nivel de significancia, para comparar los tratamientos, se evidencia que el testigo es diferente cuando se compara con los tratamientos T12-24, T6-36 y T6-48 (Tabla 7).

Puede concluirse que:

La calidad del café es influenciada por muchos factores y en esta investigación se incluye el proceso de secado del café lavado como una etapa fundamental en la conservación de la inocuidad y calidad sensorial del café.

Cuando se realizan procesos de interrupción de café con humedades mayores a 40%, se generan valores promedio de actividad de agua de 0,95, lo que establece condiciones de riesgo para la calidad.

Se determinó que el café lavado sometido a menores tiempos iniciales de secado y

mayores tiempos de interrupción, tiene mayores probabilidades de presentar defectos sensoriales, específicamente el defecto terroso. Por lo tanto, para disminuir el riesgo en la etapa del secado, no se recomienda someter el café a interrupciones.

El tiempo de secado inicial tiene efecto directo en el contenido de humedad y diferencias del 5% entre café secado por 12 y 6 horas generan porcentajes de defectos del 50% y 75%, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Al panel de catación de Cenicafé, al equipo de la Disciplina de Biometría, doctores Rubén Medina y Luis Imbachí. En la Disciplina de Calidad a Claudia Gallego, Paola Calderón, Wilson Vargas, Víctor Castañeda y el personal de apoyo Benjamín Sánchez. Al equipo de Experimentación: Carlos Gonzalo Mejía, José Farid López y Jhon Félix Trejos. Fuente de financiación: recursos propios, CAL105003.

Tabla 7. Resultados prueba Dunnet entre tratamientos de interrupción de secado.

Comparación tratamientos	Diferencia entre promedios de puntaje de taza
T12-36-Testigo	-5,855
T12-48-Testigo	-10,837
T6-24-Testigo	-11,385
T6-12-Testigo	-16,284
T6-36-Testigo	-16,690
T12-24-Testigo	-21,709***
T6-36-Testigo	-27,310***
T6-48-Testigo	-27,500***

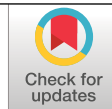
LITERATURA CITADA

- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Oliveira, P. D., Ribeiro, F. C., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. (2014). Effect of intermittent drying and storage on parchment coffee quality. *Bioscience Journal*, 30(2), 609–616. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18209>
- 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.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/37>
- Corrêa, P. C., Goneli, A. L. D., Júnior, P. C. A., De Oliveira, G. H. H., & Valente, D. S. M. (2010). Moisture sorption isotherms and isosteric heat of sorption of coffee in different processing levels. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(10), 2016–2022. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02373.x>
- Heno Arismendy, J. (2015). *Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56186>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2003). *ISO 6673:2003—Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Isquierdo, E. P., Borém, F. M., Cirillo, M. A., Oliveira, P. D., Cardoso, R. A., & Fortunato, V. A. (2011). Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. *Coffee Science*, 6(1), 83–90 <https://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/229>
- Jurado, J. M., Montoya, E. C., Oliveros, C. E., & García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/188>
- Kleinwächter, M., Bytof, G., & Selmar, D. (2015). Coffee Beans and Processing. En V. R. Preedy (Ed.), *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 73–81). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00009-7>
- Marques, E. R., Borém, F. M., Pereira, R. G. F. A., & Biaggioni, M. A. M. (2008). Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café Arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1557–1562. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500030>
- Oliveros, C. E., Pabon, J. P., & Montoya, E. C. (2016). Evaluación de una alternativa para la conservación de la calidad en la comercialización del café húmedo. *Revista Cenicafé*, 67(2), 86–95. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/732>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Pabón, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 162–187). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_7
- 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. (2008). SECAFÉ Parte I: modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4), 415–427. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400013>
- 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>
- Pereira, G. V., Neto, D. P., Júnior, A. I. M., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- Puerta, G. I. (2013). Calidad 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. 81–110). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_30
- Roa, G., Oliveros, C., Parra, A., & Ramírez, C. A. (2000). El secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 282, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0282>
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Álvarez, J. R., Dávila, M. T., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/882>

EFFECTO DEL MANEJO DE FRUTOS VERDES DE CAFÉ, PREVIO AL PROCESO DE BENEFICIO, EN SU CALIDAD FÍSICA

Laura Vanessa Quintero Yepes *, Nelson Rodríguez Valencia *

Quintero Y., L.V., & Rodríguez V., N. (2022). Efecto del manejo de frutos verdes de café, previo al proceso de beneficio, en su calidad física. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73202. <https://doi.org/10.38141/10778/73202>



La masa de frutos verdes recolectados con la estrategia de la cosecha asistida puede ser cercana al 6%, siendo necesario implementar prácticas de manejo que permitan valorizar dichos frutos, con el fin de contribuir a la rentabilidad del negocio cafetero. Con este objetivo, se llevó a cabo el estudio de diferentes condiciones de manejo de los frutos verdes, recién cosechados, con el propósito de mejorar la calidad física en el grano e incrementar su precio de venta. Para esto se realizó una investigación en un diseño completamente aleatorio con ocho tratamientos, que combinaron diferentes condiciones de manejo del fruto y épocas de recolección. Las variables evaluadas involucraron: el factor de conversión de fruto a café pergamino seco, el porcentaje de café no despulpado, el precio de venta respecto a un café estándar y la relación entre el precio del kilogramo de frutos verdes respecto al precio del kilogramo de frutos maduros (estimados a partir del precio de venta del grano obtenido y del factor de conversión). La prueba de Dunnett al 5% mostró diferencias significativas de todos los tratamientos respecto al testigo. Complementariamente, la prueba de comparación de REGWQ indicó que los tratamientos que consistieron en el manejo de frutos verdes, provenientes de la cosecha principal, con la adición de madurante y con o sin la adición de melaza después del despulpado, son iguales estadísticamente en la variable porcentaje de venta respecto al café estándar. Se concluyó que es posible aplicar un método de manejo de los frutos verdes, previo al proceso de beneficio del café, mejorando su calidad física y obteniendo un precio de venta superior al de los frutos verdes sin manejo.

Palabras clave: Cosecha asistida, poscosecha de café, madurante de frutos, precio de venta de café, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF GREEN COFFEE BERRIES MANAGEMENT, PRIOR TO COFFEE PROCESSING, ON THEIR PHYSICAL QUALITY

The total mass of green coffee berries collected with the assisted harvest strategy can be close to 6%. Therefore, it is necessary to implement management practices that add value to these berries in order to contribute to the profitability of the coffee business. To this end, the study of different management conditions of green coffee berries, freshly harvested, was carried out in order to improve the physical quality of the grain and increase its selling price. A completely randomized design study was carried out with eight treatments, which combined different berry management conditions and harvest times. The variables evaluated involved: conversion factor from berry to dry coffee parchment, percentage of non-despulping coffee, selling price with respect to standard coffee and relationship between the price of the kilogram of green berries with respect to the ripe berries (estimated from the sale price of the grain obtained and the conversion factor). The Dunnett test at 5% showed significant differences of all treatments with respect to the control. In addition, the REGWQ comparison test indicated that the management of green berries from the main harvest, with ripener addition and with or without molasses addition after despulping, show the same statistical values in the sales percentage variable with respect to standard coffee. In conclusion, it is possible to apply a method of green berries management prior to coffee processing, which improves their physical quality and the selling price compared to green berries without management.

Keywords: Assisted harvest, post-harvest coffee, ripening fruit, coffee sales price, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790> y <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>



La recolección o cosecha manual del café en Colombia representa aproximadamente el 40% de los costos de producción de una finca cafetera, correspondiente a la contratación de mano de obra (Duque et al., 2021). En Cenicafé se han desarrollado metodologías y tecnologías para la cosecha asistida que permiten optimizar y mejorar las condiciones de trabajo de los recolectores y reducir los costos de producción (Duque et al., 2021). El concepto de cosecha asistida se basa en tres prácticas que se aplican de manera aditiva (Duque et al., 2021): retención de pases (Sanz et al., 2018b), recolección con lonas (Sanz et al., 2018a) y el uso de la Derribadora Selectiva de Café-DSC18 (Sanz & Duque, 2020). La evaluación de la masa cosechada con la derribadora de frutos de café mostró un promedio de $6,07\% \pm 3,08$ de frutos verdes. Este tipo de frutos deben ser separados de la masa de café cosechada para evitar defectos de calidad en taza, la cual se encuentra estrechamente ligada al tipo de materia prima recolectada (Puerta, 2006). Se ha reportado que la presencia de 2,5% en peso de frutos verdes en la masa beneficiada hace que se rechacen hasta el 30% de las tazas por defectos como sucio, fermento y sabores desagradables (Puerta, 2000). En este sentido, en Cenicafé se están investigando tecnologías que permiten separar los frutos verdes de la masa cosechada (Cenicafé, 2020).

Una vez separados los frutos verdes, es necesario generar alternativas que permitan dar valor agregado a estos. Investigaciones realizadas en Brasil han demostrado que un beneficio apropiado para los frutos verdes que involucre diferentes tiempos de fermentación, temperaturas y tiempos de secado, permiten obtener un café con buena aceptación por parte de los consumidores (Borges, 2002; Matos, 2006; Rigueira, 2005; Nobre, 2009; Silva, 2013). De igual forma, se ha estudiado

la extracción de compuestos químicos, entre ellos, antioxidantes de los frutos verdes del café, con el fin de evaluar su potencial para la obtención de productos que ayudan a la salud humana (Nobre, 2011; Granda, 2016; Faria, 2018).

En Cenicafé, en el año 2019, se evaluaron diferentes alternativas para el beneficio de frutos verdes de café recién cosechados: 1. Adición de agua, mucílago de café proveniente de frutos maduros o melaza de caña, antes del proceso de despulpado; 2. Todos ellos adicionados después del proceso de despulpado; y 3. Secado directo de los frutos verdes, posterior despulpado y adición de mucílago de café o melaza de caña. Los resultados de estas evaluaciones mostraron la presencia de pulpa en el café despulpado, almendras negras y un factor de conversión de diez, el doble, comparado con una masa de recolección normal (Montilla et al., 2008). Por lo tanto, se concluyó que no era conveniente realizar el proceso de beneficio a los frutos verdes de café recién cosechados (Cenicafé, 2019). A partir de observaciones realizadas en la investigación, se encontró que cuando los frutos verdes se almacenaron durante determinado tiempo, el epicarpio de algunos de ellos cambió de color verde a amarillo y rojo, además de la aparición de una capa mucilaginosa entre el epicarpio y el endocarpio, facilitando el despulpado.

El cambio de color en el epicarpio de los frutos de café es uno de los indicadores del estado de madurez de los mismos, cada una de esas tonalidades corresponde a un estado de desarrollo del fruto, así como variaciones en la composición química del grano (Peñuela et al., 2022). La respiración presentada por los frutos de café muestra un comportamiento climatérico, observándose picos a las 12 horas después de la recolección e inicia generalmente cuando los frutos

alcanzan el máximo tamaño, razón por la cual los frutos en estado verde amarillo respiran debido a que este tipo de frutos se encuentran básicamente en su madurez fisiológica (máximo contenido de materia seca) (Marín et al., 2003). Dado lo anterior, se determinó que la mejor condición para el manejo de los frutos, que permite mejorar la calidad física del grano proveniente de los frutos verdes, es el uso de costales de fibra plástica (con capacidad de 50 kg), durante un tiempo de 15 días, realizando volteos periódicos del costal (Cenicafé, 2020).

Adicionalmente, se identificó que la adición de una sustancia fitoreguladora (ácido 2-cloroetilfosfónico), que genera etileno después de su aplicación y que es utilizada como madurante de frutos, permite obtener en 10 días la mayor cantidad de frutos de café en condiciones apropiadas para el proceso de beneficio, tiempo menor a los 15 días que se requieren cuando no se adiciona el compuesto (Figura 1) (Cenicafé, 2020).

El objetivo de esta investigación fue encontrar la condición bajo la cual se obtiene un mayor precio de venta de los frutos verdes, almacenados y beneficiados, en diferentes épocas de cosecha, con y sin la adición de madurante, con respecto al precio de un café estándar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en Cenicafé, sede La Granja, ubicada en el municipio de Manizales (Caldas), a una altitud de 1.310 m y con una temperatura media de 21,6°C (Cenicafé, 2021).

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron frutos verdes de café recolectados manualmente, estado de maduración 1, de acuerdo a la herramienta Cromacafé®, provenientes de la Estación Experimental Naranjal, clasificados hidráulicamente, con densidades superiores a la del agua y dejándolos escurrir para evitar un deterioro por exceso de humedad, durante el tiempo de manejo de



Figura 1. Aspecto de los frutos verdes de café con y sin la aplicación de madurante.

los mismos, antes del proceso de beneficio. Para la conformación de los tratamientos descritos en la Tabla 1, se consideraron tres condiciones de cosecha: principal, mitaca o traviesa y sanitaria, ya que estas pueden afectar el desarrollo de los frutos verdes, la adición o no de la sustancia madurante y el uso de melaza como suplemento en la etapa de fermentación después de obtenido el café despulpado. El madurante (ácido 2-cloroetilfosfónico) se utilizó en una dosis de 0,25 mL kg⁻¹ de fruto, a partir de una solución al 0,5% v/v (Cenicafé, 2020) y su adición se realizó posterior a la clasificación hidráulica. La melaza de caña se utilizó a una relación p/p del 14,85% del peso del fruto y concentración de 10°Brix y el manejo de los frutos con y sin madurantes se realizó a condiciones ambiente.

Una vez obtenidos los frutos en condición para el proceso de beneficio, para los tratamientos 1 al 6, se utilizó la tecnología Becolsub, con un equipo con capacidad para

obtener 300 kg de café lavado por hora. En los tratamientos que implicaron la adición de melaza (7 y 8), esta se adicionó después de la etapa de despulpado. El secado del café lavado se realizó al sol hasta tener una humedad entre el 10% y 12% b.h., y una vez terminado el secado se llevaron las muestras de café pergamino seco al punto de compra (Cooperativa de Caficultores de Chinchiná) con el fin de determinar su precio de venta.

La unidad experimental estuvo conformada por 25 kg de frutos verdes de café. Por cada tratamiento se tuvieron cinco unidades experimentales. La variable de respuesta fue el porcentaje de precio de venta del café pergamino seco (cps) en relación con un café estándar y se tuvieron como variables complementarias: porcentaje de café no despulpado, porcentaje de café pergamino seco, factor de conversión de fruto a café pergamino seco y la relación entre el porcentaje de precio de 1,0 kg de frutos verdes respecto a

Tabla 1. Tratamientos evaluados en frutos verdes de café cosechados.

Tratamiento*	Condición de cosecha	Adición de madurante	Adición de melaza después de despulpado
1	Principal		
2	Mitaca	No	No
3	Sanitaria**		
4	Principal		
5	Mitaca	Si	No
6	Sanitaria**		
7	Principal	No	Si
8	Principal	Si	Si
Testigo	Principal	Despulpados el mismo día de la recolección	

* Para todos los tratamientos se utilizaron frutos verdes recién cosechados

**Práctica agronómica de recolección de frutos verdes que quedan en los árboles después de la cosecha en los cafetales a renovar para evitar la dispersión de la broca (Rendón, 2016)

1,0 kg de frutos maduros. Esta última variable se estableció considerando las variaciones que se presentan en el factor de conversión de fruto a cps, para los diferentes estados de madurez del fruto y que este factor tiene influencia sobre los rendimientos financieros en el proceso del café.

El precio de venta del fruto de café se estimó con base en el precio del café pergamino seco y el factor de conversión de los frutos a cps. Para el caso de los frutos maduros se tuvo como valor de referencia un factor de conversión de cinco (Montilla et al., 2008), es así como para estimar el valor comercial del fruto, asumiendo que, a partir de 1,0 kg de frutos se obtienen 0,2 kg de cps y este se vende como café estándar (100% del precio), el valor comercial de los frutos maduros sería el 20% del valor comercial del cps. Para el cálculo del valor comercial del fruto verde, para cada uno de los tratamientos, se dividió el porcentaje del precio de venta del café pergamino seco en relación con un café estándar entre el factor de conversión, a este valor se le restó el 20% (precio del fruto maduro), y se calculó el porcentaje al que equivaldría la diferencia con respecto al valor comercial del fruto maduro. En este orden de ideas, valores positivos muestran un mayor precio de venta del fruto verde respecto al fruto maduro y valores negativos muestran un menor precio de venta del fruto verde respecto al fruto maduro.

Para cada tratamiento y con las variables de interés y complementarias, se estimó el promedio y el error estándar. Con las variables de interés y bajo un diseño completamente aleatorio, se evaluó el efecto de tratamientos respecto al testigo, mediante una prueba de Dunnett al 5%.

En un segundo análisis estadístico se retiró el testigo (frutos verdes sin manejo) y con las variables de interés y bajo el diseño

completamente aleatorio se evaluó el efecto de tratamientos.

En la Figura 2 se presenta la metodología llevada a cabo para cada uno de los tratamientos realizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Frutos provenientes de cosecha principal

De acuerdo a los resultados obtenidos con los frutos provenientes de cosecha principal, se encontró que el tratamiento con el cual se logró un precio de venta mayor respecto al estándar fue el T4, frutos almacenados en costales de fibra con la adición de madurante, logrando un valor promedio de $95,92\% \pm 1,60$ con un factor de conversión de $3,99 \pm 0,08$ y porcentaje de café no despulpado del $4,01\% \pm 0,63$ (Tabla 2). Seguido por el tratamiento 8, frutos almacenados en costales de fibra con la adición de madurante y adición de melaza después de la etapa de despulpado, con un porcentaje del precio de venta de $93,60\% \pm 1,46$, factor de conversión de $4,05\% \pm 0,03$ y un porcentaje de café no despulpado del $2,99\% \pm 0,07$. En la Figura 3 se presenta la apariencia de los granos de café sin pergamino provenientes de los frutos verdes de cosecha principal y con adición de madurante (T4).

Con la utilización del madurante no sólo se optimiza el proceso en tiempo, sino que se logran mejores condiciones: menor porcentaje de café despulpado, mayor porcentaje en precio de venta respecto al estándar y un menor factor de conversión (Tabla 2). La adición de melaza de caña a los frutos almacenados después del despulpado no representa un aumento en el precio de venta ya que, con o sin madurante, el porcentaje del precio de venta fue menor comparado con los tratamientos que no tenían melaza. En el caso del T8, el mayor precio de venta está influenciado por la aplicación del madurante, no por la aplicación de la melaza.

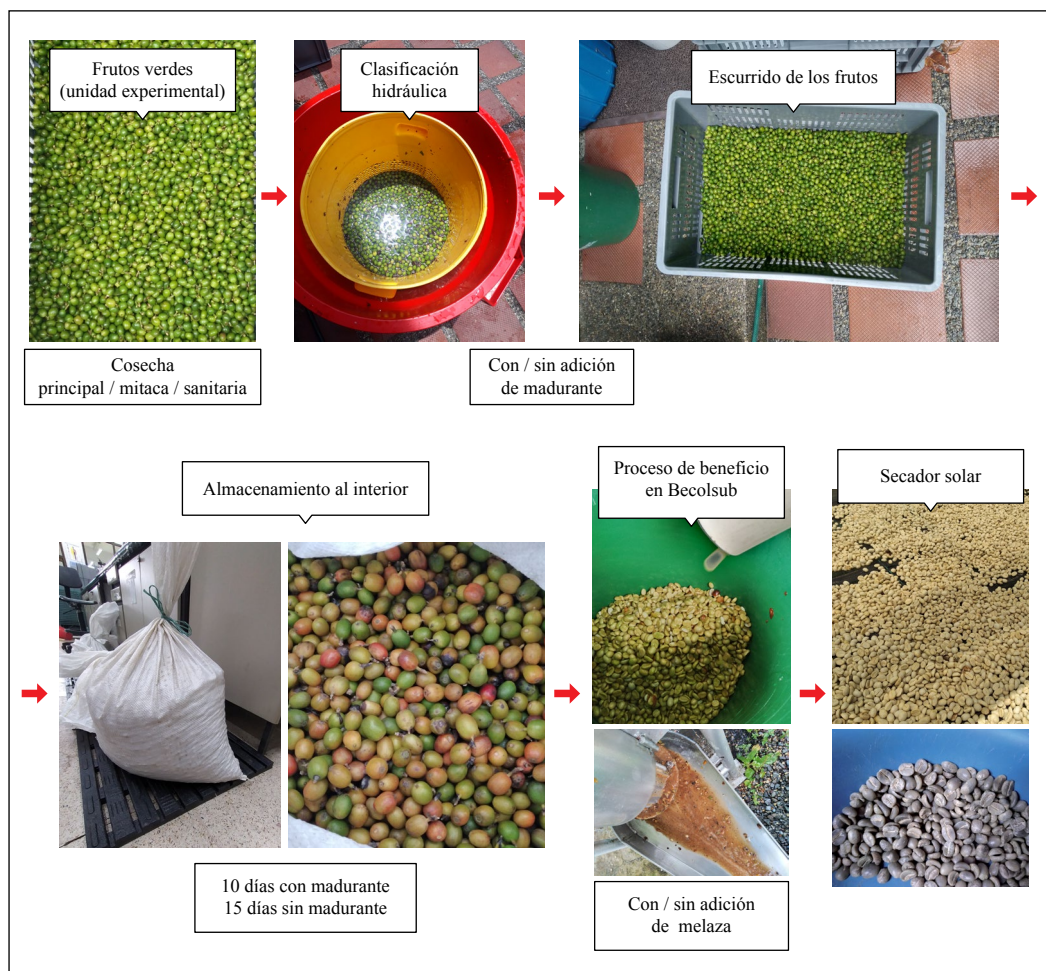


Figura 2. Metodología utilizada para el procesamiento de los frutos verdes.

Tabla 2. Promedios e intervalos de confianza al 95% para las variables de respuesta y complementarias en época de cosecha principal.

Tratamiento	Café no despulpado (%)	Café pergamino seco-cps (%)	Factor de conversión de fruto a cps (kg/kg)	Precio de venta respecto al café estándar (%)	Precio kg fruto verde/kg fruto maduro (%)
T1	6,57±0,21	20,36±0,84	4,92±0,21	90,02±1,03	-8,39±2,89
T4	4,01±0,63	25,10±0,50	3,99±0,08	95,92±1,60	20,41±3,41
T7	5,78±0,29	20,10±0,31	4,98±0,08	82,74±1,51	-16,80±2,73
T8	2,99±0,07	24,68±0,20	4,05±0,03	93,60±1,46	15,50±1,34



Figura 3. Apariencia de la almendra proveniente de frutos verdes de café almacenados en costales de fibra con la adición de madurante.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que el fruto verde, proveniente del T4, fue el que alcanzó un mayor valor comercial que representó un 20,41% más al obtenido por un fruto maduro, cuya calidad permitió su venta como un café estándar, seguido del T8, con un valor superior en el 15,50%. Para los T1 y T7 el precio comercial del fruto verde fue inferior al alcanzado por un fruto maduro con calidad de café estándar.

Frutos provenientes de cosecha de mitaca

De acuerdo a los resultados obtenidos con los frutos provenientes de cosecha de mitaca,

se encontró que el tratamiento con el cual se logra un porcentaje en el precio de venta mayor respecto al estándar fue el T5, frutos en almacenamiento con la adición de madurante, logrando un valor promedio de $84,74\% \pm 0,90$ con un factor de conversión de $6,00\% \pm 0,05$ y porcentaje de café no despulpado del $11,39\% \pm 0,71$. Al igual que para los frutos provenientes de la cosecha principal, con la adición de madurante antes del almacenamiento se lograron mejores resultados (Tabla 3).

En la cosecha de mitaca se obtuvieron factores de conversión mayores (entre 6,00 y 6,93) respecto a la cosecha principal (entre

Tabla 3. Promedios e intervalos de confianza al 95% para las variables de respuesta y complementarias en época de cosecha secundaria (mitaca).

Tratamiento	Café no despulpado (%)	Café pergamino seco (%)	Factor de conversión de fruto a cps (kg/kg)	Precio de venta respecto al café estándar (%)	Precio kg fruto verde/kg fruto maduro (%)
T2	14,53±0,99	14,44±0,45	6,93±0,22	75,56±1,22	-45,43±2,30
T5	11,39±0,71	16,68±0,14	6,00±0,05	84,74±0,90	-29,33±1,07

3,99 y 4,98). De igual forma, se registraron mayores porcentajes de café no despulpado en la cosecha de mitaca (entre 11,39% y 14,53%) respecto a la cosecha principal (entre 2,99% y 6,57%). Finalmente, el porcentaje en el precio de venta fue menor para los tratamientos con frutos provenientes de cosecha de mitaca (entre 75,56% y 84,74%) comparados con los tratamientos con frutos provenientes de cosecha principal (entre 82,74% y 95,92%). Para los tratamientos de mitaca el precio comercial del fruto verde fue inferior al alcanzado por un fruto maduro con calidad de café estándar.

igual forma se registraron mayores porcentajes de café no despulpado (entre 16,11% y 20,72%) en la cosecha sanitaria respecto a la cosecha de mitaca (entre 11,39% y 14,53%). Finalmente, el porcentaje en el precio de venta es menor para los tratamientos con frutos provenientes de cosecha sanitaria (entre 24,14% y 35,28%) que para los tratamientos con frutos provenientes de cosecha de mitaca (entre 75,56% y 84,74%). Para los tratamientos de cosecha sanitaria el precio comercial del fruto verde fue inferior al alcanzado por un fruto maduro con calidad de café estándar.

Frutos provenientes de cosecha sanitaria

Con los frutos provenientes de cosecha sanitaria se encontró que el tratamiento con el cual se logró un porcentaje en el precio de venta mayor respecto al estándar fue el T6, frutos verdes con la adición de madurante, con un valor promedio de $35,28\% \pm 2,19$, factor de conversión de $8,02 \pm 0,23$ y porcentaje de café no despulpado del $16,11\% \pm 1,03$. Con la adición de madurante se lograron mejores resultados respecto a todas las variables evaluadas (Tabla 4).

Para los frutos provenientes de cosecha sanitaria se obtuvieron factores de conversión mayores (entre 8,02 y 8,16), comparados con los de cosecha de mitaca (entre 6,00 y 6,93), de

Testigo

Con el testigo, frutos verdes sin manejo previo al proceso de beneficio, se obtuvo un menor valor para el porcentaje de precio del $13,98\% \pm 0,87$, comparado con los demás tratamientos evaluados (Tabla 5). El porcentaje de café no despulpado fue de $27,57\% \pm 2,81$ y el factor de conversión fue de $9,61 \pm 0,16$, valores superiores a los encontrados con los demás tratamientos evaluados (Tabla 5).

Para el tratamiento testigo el precio comercial del fruto verde fue inferior al alcanzado por un fruto maduro con calidad de café estándar y representó un 92,73% más bajo, siendo el tratamiento con el menor valor comercial (Tabla 5).

Tabla 4. Promedios e intervalos de confianza al 95% para las variables de respuesta y complementarias en época de cosecha sanitaria.

Tratamiento	Café no despulpado (%)	Café pergamino seco (%)	Factor de conversión de fruto a cps (kg/kg)	Precio de venta respecto al café estándar (%)	Precio kg fruto verde/kg fruto maduro (%)
T3	20,72±0,51	12,27±0,47	8,16±0,30	24,14±2,55	-85,17±1,85
T6	16,11±1,03	12,48±0,37	8,02±0,23	35,28±2,19	-77,97±1,69

Tabla 5. Promedio e intervalo de confianza al 95% para la variable de respuesta y complementaria para frutos verdes sin manejo.

Tratamiento	Café no despulpado (%)	Café pergamino seco (%)	Factor de conversión de fruto a cps (kg/kg)	Precio de venta respecto al café estándar (%)	Precio kg fruto verde/kg fruto maduro (%)
Testigo	27,57±2,81	10,40±0,17	9,61±0,16	13,98±0,87	-92,73±0,46

Porcentaje del precio de venta

Para la variable de respuesta, porcentaje de venta respecto al estándar, todos los tratamientos evaluados estuvieron por encima del valor obtenido para el testigo (Figura 4). El mejor tratamiento fue el T4, debido a que mostró los valores más altos para esta variable, que consistió en frutos verdes de café provenientes de cosecha principal con la adición de madurante y almacenados antes del proceso de beneficio. El tratamiento con los valores más bajos para esta variable fue el T3, frutos verdes de café provenientes de cosecha sanitaria, almacenados en costales de fibra antes del proceso de beneficio (Figura 4).

Con relación al porcentaje de venta respecto al estándar, los mejores tratamientos fueron los que utilizaron frutos de cosecha principal, seguidos de los que utilizaron frutos de cosecha de mitaca y, por último, frutos provenientes de cosecha sanitaria (Figura 4).

Según la distribución de los datos relacionados con el factor de conversión, todos los tratamientos presentaron un factor de conversión menor respecto al testigo. Los tratamientos con menores factores de conversión de fruto a café pergamino seco fueron los provenientes de cosecha principal utilizando madurante (T4 y T8), con lo cuales se tuvieron valores cercanos a 4,0 (Figura 5).

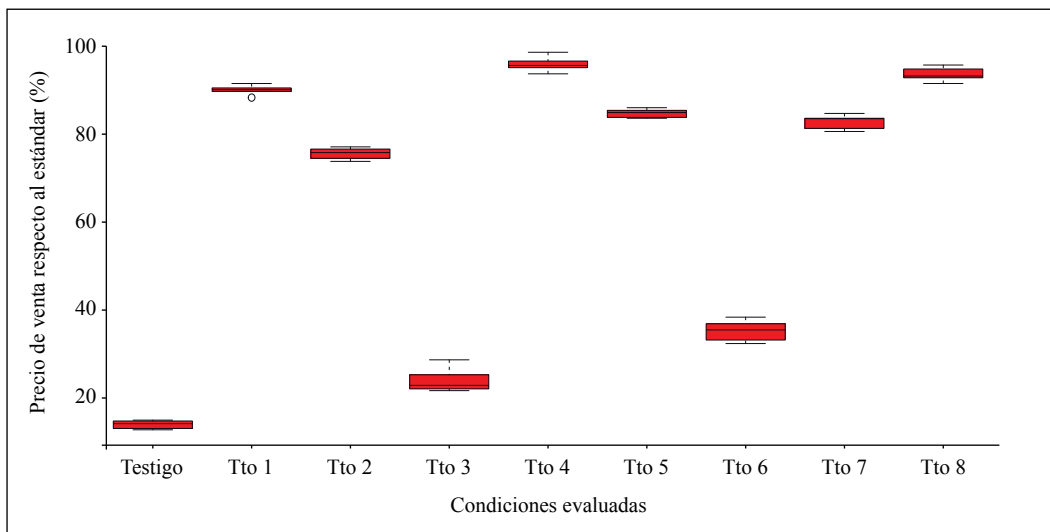


Figura 4. Distribución de los datos del porcentaje del precio de venta respecto al café estándar.

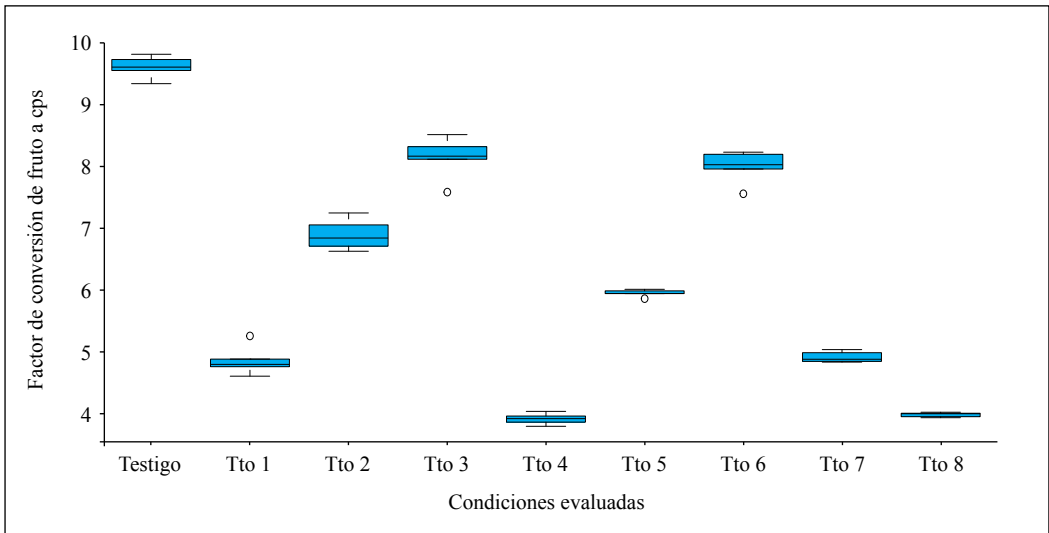


Figura 5. Distribución de los datos del factor de conversión de fruto a café pergamino seco.

El factor de conversión de un fruto de café maduro a café pergamino seco es aproximadamente de 5,0, los valores en los tratamientos evaluados se explican porque el fruto verde en almacenamiento tiene menor cantidad de mucilago, lo cual se ve reflejado cuando se realiza el cálculo del factor de conversión.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación de tratamientos para la variable porcentaje de venta respecto al estándar, se observa que los tratamientos T4 y T8 no presentaron diferencias significativas. Estos dos tratamientos corresponden a frutos manejados con madurante con y sin la adición de melaza de caña, por lo tanto, puede concluirse que la adición de melaza después del beneficio no mejora el precio de venta final de los frutos verdes (Figura 6).

Los tratamientos T5 y T7 tampoco presentaron diferencias significativas, estos correspondieron a frutos provenientes de cosecha de mitaca con madurante y frutos

provenientes de cosecha principal sin madurante y con la adición de melaza. De acuerdo a los resultados obtenidos en estos dos tratamientos se concluye que cuando se adiciona el madurante a los frutos provenientes de cosecha de mitaca se obtienen resultados similares a los frutos provenientes de cosecha principal sin la adición de madurante (Figura 6).

En cuanto a los resultados obtenidos en la comparación de tratamientos para la variable factor de conversión, se encontró que los tratamientos T3 y T6 no tuvieron diferencias significativas, estos dos tratamientos provenían de frutos de cosecha sanitaria con y sin madurante, lo cual evidencia que para este tipo de frutos a pesar de que se agregue madurante no se aumenta su valor comercial (Figura 7).

Los tratamientos T7 y T1 tampoco presentaron diferencias significativas, en ambos tratamientos no se adicionó madurante, en uno se evaluó la adición de melaza después del proceso de beneficio y en el otro no. De igual

forma los tratamientos T8 y T4 no presentaron diferencias significativas, estos corresponden a frutos verdes almacenados con madurante, uno con la adición de melaza y el otro no (Figura 7).

Según a los resultados obtenidos en esta comparación entre tratamientos se concluye que la adición de madurante hace que el factor de conversión sea menor, ya que cuando se utiliza hay una menor cantidad de frutos que no despulpan.

De este estudio puede concluirse que:

El manejo de los frutos verdes de café provenientes de cosecha principal, realizando

un almacenamiento y adicionando madurante, fue el tratamiento que obtuvo los mejores resultados respecto al valor promedio en el porcentaje de precio respecto al estándar, a los valores de factor de conversión y al porcentaje de café no despulpado, comparado con los frutos verdes recién cosechados y sin manejo.

El manejo de los frutos verdes bajo las condiciones evaluadas en la investigación, previo al proceso de beneficio, es una alternativa para su valorización, ya que permite aumentar el precio de venta del grano y mejorar la calidad física. Adicionalmente, la utilización de un madurante no sólo optimiza el proceso en tiempo (menor tiempo de manejo), sino que permite obtener un menor porcentaje

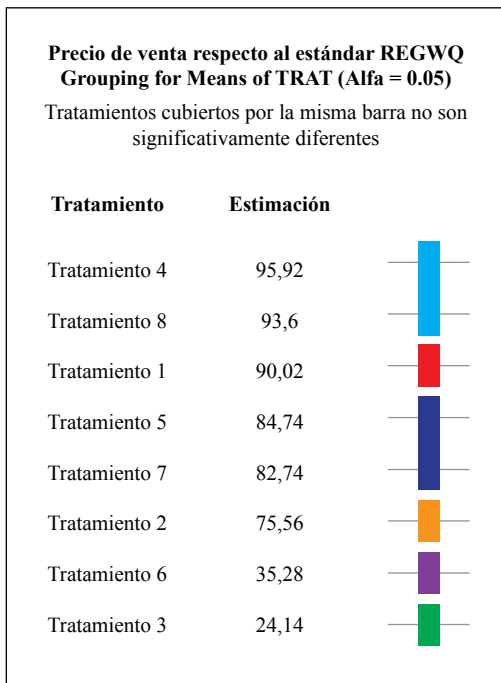


Figura 6. Comparación entre tratamientos para el porcentaje de precio de venta respecto al estándar.

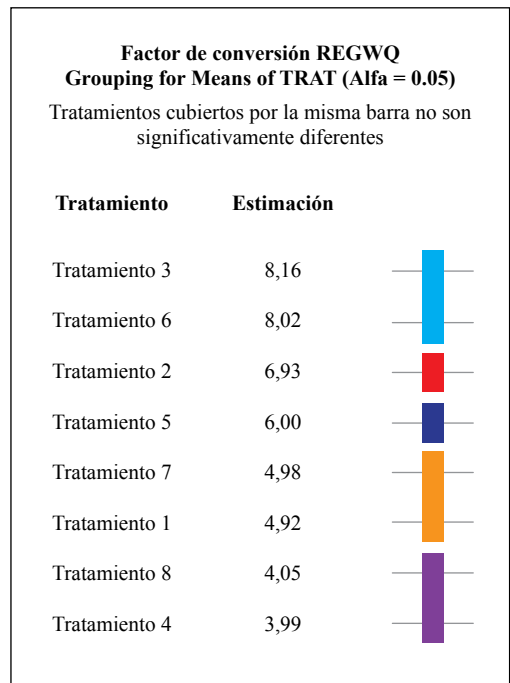


Figura 7. Comparación entre tratamientos para los datos del factor de conversión de fruto a café pergamino seco.

de café sin despulpar, un mayor porcentaje en el precio de venta del grano respecto al estándar y un menor factor de conversión (fruto-cps) respecto a los frutos verdes recién cosechados. Sin embargo, es necesario realizar estudios que permitan establecer el efecto de los mejores tratamientos sobre la calidad de la bebida, con el fin de completar la estrategia de valorización.

AGRADECIMIENTOS


A los auxiliares Samuel Castañeda, Javier Velásquez y al Ing. Jhon Félix Trejos por su apoyo en la ejecución de la investigación. A los doctores Juan Rodrigo Sanz, Aida Peñuela y a la Disciplina de Biometría por el apoyo en el análisis de los resultados. Fuente de financiación: recursos propios, POS107020.

LITERATURA CITADA

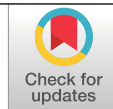
- Borges, F. B., Jorge, J. T., & Noronha, R. (2002). Influência da idade da planta e da maturação dos frutos no momento da colheita na qualidade do café. *Food Science and Technology*, 22, 158-163. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000200010>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). 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>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). Anuario Meteorológico Cafetero 2020. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/10782/anu2020>
- Duque-Orrego, Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A. & Gaitán, A. (2021). Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- Faria, W. C. S. (2018). Extrato do fruto do café verde: desenvolvimento de microcápsulas por spray drying, eficácia antioxidante e avaliação da estabilidade e segurança para uso em alimentos. Tesis de Doctorado-Universidad Estadual de Campinas. <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/346602>
- Gandra, F. P. D. P. (2016). Bioatividade de grãos de cafés oriundos de frutos imaturos e efeito sobre o metabolismo energético de camundongos. Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Lavras. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11257>
- Marín, S. M., Arcila, J., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio rendimiento y calidad de la bebida. <http://hdl.handle.net/10778/254>
- Matos, A. T. D., Cabanellas, C. F. G., Silva, J. D. S., Machado, M. C. (2006). Qualidade de bebida de grãos de café processados com água sob recirculação e tratamento físico-químico. *Engenharia na Agricultura*, 14(3)
- Montilla P, J., Arcila P., J., Aristizabal L., M., Montoya R., E.C., Puerta Q., G.I.; Oliveros T., C.E., Cadena G., G. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé*, 370. 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/358>
- Nobre, G. W. (2009). Processamento e qualidade de frutos verdes de café arábica. Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Lavras. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6679>
- Nobre, G. W., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Pereira, R. G. F., & Oliveira, P. D. D. (2011). Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea arabica* L.) processados por via seca e via úmida. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/7874>
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, Álvaro, & Sanz-Urbe, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>
- Puerta Q., G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136-150. <http://hdl.handle.net/10778/65>
- Puerta Q., G. I. (2006). Sistema de aseguramiento de la calidad y la inocuidad del café en la finca. *Avances Técnicos Cenicafé*, 351, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/415>

- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. Centro Nacional de Investigaciones de Café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Rigueira, R. J. D. A. (2005). Avaliação da qualidade do café processado por via úmida, durante as operações de secagem e armazenagem. Tesis de Doctorado, Universidad Federal de Viçosa. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/509>.
- Sanz, J. R., & Duque, H. (2020). Cosecha con la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Boletín Técnico Cenicafé*, 43, 1-20. <https://doi.org/10.38141/10781/043>
- Sanz, J. R., Duque, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2018-a). Lonas para asistir la cosecha manual de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 487, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0487>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Medina, R. D. (2018-b). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>
- Sanz-Uribe, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafé*, 71(2), 92-104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>
- Silva, J. D. S., Moreli, A. P., Soares, S. F., Donzeles, S. M. L., & Vitor, D. G. (2013). Produção de café cereja descascado—equipamentos e custo de processamento. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3878>

EFECTO DEL MATERIAL DE EMPAQUE EN EL ALMACENAMIENTO DE LA SEMILLA *Coffea arabica* L.

Mélsar Danilo Santamaría Burgos  *

Santamaría-Burgos, M. (2022). Efecto del material de empaque en el almacenamiento de la semilla *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73203. <https://doi.org/10.38141/10778/73203>



Con el propósito de conocer el desempeño del material de empaque para el almacenamiento y preservación del potencial germinativo de la semilla de *Coffea arabica*, se evaluaron cinco materiales para la semilla almacenada durante 12 meses en cuarto frío, bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas: a 10,5°C y 65% de humedad relativa, en promedio. Los materiales de empaque evaluados fueron: polietileno (PE) calibre 6, papel kraft, trilaminado (PE, aluminio y papel), fique y polietileno bilaminado (PE multicapa). Se utilizó café cereza maduro procedente de la Estación Experimental Naranjal, cosechado en lotes de *C. arabica* de 4 años de edad, en buen estado fitosanitario y beneficiado en la Unidad de Beneficio de Semillas en Cenicafé. El café pergamino seco obtenido en el proceso de beneficio presentó valores entre 10,3% y 11,5% de humedad y porcentaje de germinación del 96%, con un error estándar de 0,94. La semilla se empacó y se dispuso de forma aleatoria al interior del cuarto frío en Cenicafé. En el laboratorio se midió el contenido de humedad y el porcentaje de germinación. Los materiales de empaque de mayor barrera al vapor de agua fueron polietileno, trilaminado y polietileno bilaminado, los cuales preservaron la calidad de la semilla durante los 12 meses, con porcentaje de germinación por encima del 94%, en promedio. Los empaques que ofrecieron menor barrera fueron papel kraft y fique, los cuales afectaron en mayor grado la germinación de la semilla, con valores entre 87% y 88%, en promedio, a partir de los seis meses. La bolsa de papel kraft, que se usa actualmente para el empaque, es un material apto para el almacenamiento de semillas de café, por períodos inferiores a seis meses.

Palabras clave: Potencial germinativo, proceso de beneficio, prueba de germinación, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF THE PACKING MATERIAL ON THE STORAGE OF THE *Coffea arabica* L. SEED

In order to know the performance of storage and preservation packaging material of germinative potential, five packaging materials were evaluated for the *Coffea arabica* seed, stored for 12 months in a cold room, under controlled temperature and relative humidity conditions at 10.5°C and 65%, on average. The packaging materials evaluated were: polyethylene (PE) 6 gauge; kraft paper, trilaminate (PE, aluminum and paper), fique and bilaminate polyethylene (multilayer PE). Mature coffee from the Naranjal Experiment Station was used, harvested from plots of 4-year-old *C. arabica*, in good phytosanitary conditions and processed in the Coffee Seed Process Unit at Cenicafé. The dried coffee parchment obtained in the post-harvest processing had values between 10.3% and 11.5% of humidity and germination percentage of 96%, with a standard error of 0.94. The seed was packed and randomly placed inside a cold room at Cenicafé. In the laboratory, the moisture content and the percentage of germination were measured. The packing materials with the highest water vapor barrier are polyethylene, trilaminate and bilaminate polyethylene, which preserve the quality of the seed during all 12 months, with germination percentage above 94%, on average. The packs that offered the lowest barrier were kraft paper and fique, which affected the germination of the seed to a greater extent, with values between 87% and 88%, on average, from six months. The kraft paper bag, which is currently used for packaging, is a material suitable for the storage of coffee seeds, for periods of less than six months.

Keywords: Germinative potential, coffee process, germination test, Cenicafé, Colombia.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1528-9241>



La semilla de *Coffea arabica* L. por sus características de semilla intermedia, es decir, de tolerancia intermedia a la deshidratación y al almacenamiento (De Souza et al., 2009), en condiciones ambientales normales, tiene una vida después de empacada, relativamente corta, de 45 días (Arcila, 1987). Trascorrido este tiempo, la semilla empieza a reducir su porcentaje de germinación (Arcila, 1987). Por esta razón, el material de empaque y las condiciones ambientales controladas de su almacenamiento pueden llegar a tener efecto positivo en la preservación de la vida del embrión y hacer que el potencial de germinación de la semilla perdure por más tiempo.

La semilla de café es elíptica, plano convexa y con un surco longitudinal en la superficie plana. La capa exterior corresponde al endocarpio, que es una cubierta de color marrón pálido y de consistencia dura, que se convierte en el pergamino después del secado (De Castro et al., 2004). El endocarpio contiene la semilla encerrada en una testa delgada y verde, conocida como espermodermo o "piel plateada", que es un residuo del perispermo (Huxley, 1964).

En una semilla de café se distinguen dos partes principales: el endospermo y el embrión. El endospermo es un tejido vivo, conformado por una región externa dura y una región interna blanda que rodea al embrión (Da Silva, 2002; Giorgini, 1992; King & Roberts, 1979). La parte del endospermo que queda frente a la punta de la radícula se conoce como endospermo micropilar y la que está alrededor del resto del embrión es el endospermo lateral (Centro de Investigaciones Agronómicas [CIA] – Universidad de Costa Rica, 1990). El tejido del endospermo tiene alto contenido de polisacáridos (Nasiro et al., 2017) y sus paredes celulares están conformadas por celulosa y hemicelulosas, principalmente

mananos insolubles (Estanislau, 2002; Nasiro et al., 2017). El endospermo lateral es un tejido muy duro, debido a que contiene un manano de paredes celulares muy gruesas; distinto es en la región micropilar donde las paredes son mucho más delgadas (Eira et al., 2006). Los mananos de café contienen un 2,0% de galactosa, en forma de cadena lateral en su estructura química (De Castro et al., 2004) que ayuda en la movilización de compuestos a través de las paredes celulares del endospermo después de la germinación, proporcionando carbohidratos para la plántula en crecimiento. En el citoplasma de las células del endospermo están presentes proteínas, lípidos y minerales, que probablemente son otra fuente de reservas nutricionales para el embrión (Dedecca, 1957). El embrión es muy pequeño, mide entre 3 y 4 mm de largo, lo conforman un eje y dos cotiledones cordiformes adherentes y está localizado cerca de la superficie convexa de la semilla (De Castro et al., 2004; Estanislau, 2002; Krug et al., 1939); contiene pocas reservas almacenadas y depende de los nutrientes del endospermo para su crecimiento hasta que la plántula se convierta en un organismo autótrofo (Eira et al., 2006).

La germinación de las semillas de café es el resultado de la activación de un proceso de actividad enzimática, donde la endo-b-mananasa es la primera enzima en la hidrólisis del manano y es probable que sea la principal enzima involucrada en el debilitamiento del endospermo, mientras que la b-manosidasa hidroliza los productos de manosa oligoméricos resultantes de la actividad endo-b-mananasa (Eira et al., 2006). Por lo tanto, dado que la germinación en la semilla es el resultado del debilitamiento del endospermo y el crecimiento del embrión (Castaño et al., 1980), puede concluirse que las endo-b-mananasa y las b-manosidasa juegan un

papel importante durante germinación de las semillas del café, produciendo el debilitamiento del endospermo micropilar, lo que lo hace menos resistente a la punción de la radícula embrionaria sobre la pared celular de éste (De Castro et al., 2004).

La tolerancia a la desecación es un factor determinante en la longevidad de la semilla (De Souza et al., 2009). En semillas de fisiología intermedia, como es el caso de *C. arabica*, la interacción entre el contenido de humedad de la semilla y la temperatura del ambiente determinan su supervivencia y longevidad. Esta interacción es interdependiente, por cuanto el contenido crítico de agua siempre aumenta con la disminución de la temperatura (Eira et al., 2006). Las especies de *Coffea* muestran una gran variabilidad en la sensibilidad a la desecación de la semilla (Dentan, 1985; De Souza et al., 2009; Dussert et al., 1999). Los contenidos mínimos de agua a los que pueden secarse las semillas de *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*, sin que se cause daños al embrión, son: 9,0%, 10,0% - 12,0% y 24,0%, respectivamente (Dussert et al., 1999).

En Colombia, el almacenamiento de la semilla de las variedades de *C. arabica* que se produce, tiene como propósito adicional almacenar por periodos cortos, los excedentes de la producción anual, para atender la demanda a comienzos del año siguiente; este almacenamiento se realiza por dos o tres meses, en cuarto frío, con temperaturas de entre 10 y 15°C y entre 60% y 75% de humedad relativa¹. En Brasil, semillas de *C. arabica* con contenidos de humedad del 10% fueron almacenadas durante doce meses a 15°C, con resultados contradictorios e inconclusos, que no ofrecen claridad y contundencia en

relación con la extensión de la vida útil de estas (De Souza et al., 2009). También se ha recomendado el almacenamiento hermético de semillas con contenido de humedad de 10% a 11% a 10°C para mantener su viabilidad hasta por tres años (Eira et al., 2006).

Este trabajo evaluó el efecto de cinco materiales de empaque sobre la germinación de la semilla de *C. arabica* almacenada en cuarto frío, con el fin de ofrecer una solución para el almacenamiento del producto antes de ser entregado a los caficultores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones del área de estudio

La investigación se desarrolló durante el año 2019 en el laboratorio de semillas en Planalto, sede de Cenicafé en Manizales (Caldas), 4°59'N 75°35'W, a 1.400 m de altitud. En la investigación se evaluó el efecto de cinco materiales de empaque en la preservación del poder de germinación de la semilla de *C. arabica* almacenada durante un año en cuarto frío, con condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (10,5°C y 65 HR, en promedio) las cuales fueron verificadas con la ayuda de un termohigrógrafo marca Lamberch, ubicado al interior del cuarto.

Proceso de beneficio y selección de las semillas de *C. arabica*

Para la conformación de las unidades experimentales se utilizó café cereza maduro, procedente de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), ubicada a 4°58'10.30" de Latitud Norte y 75°39'10.55" de Longitud Oeste,

¹ Información obtenida por el autor, de la Disciplina de Experimentación de Cenicafé, en el proceso de producción de semilla mejorada de café.

cosechado en lotes de *C. arabica* de cuatro años de edad, con buen estado fitosanitario y nutricional de las plantas, el cual se procesó en la Unidad de Beneficio de Semillas en Cenicafé. Las operaciones de despulpado, fermentación, lavado y secado constituyen el denominado proceso de beneficio del café y consistieron en: despulpado mecánico de los frutos, representado en la remoción del pericarpio mediante despulpadoras de cilindro horizontal; fermentación del café despulpado, consistente en la retención en tanques de acero inoxidable durante 16 horas; lavado, consistente en retirar el mucílago degradado de los granos de café, mediante enjuagues con agua limpia; y, secado, que es la desecación del grano en secadores mecánicos, que utilizan una corriente de aire caliente que se conduce a través de la masa fija de café, arrastrando vapor de agua y produciendo el secado de éste, hasta alcanzar una humedad del 11% en base húmeda (bh). La temperatura del aire siempre estuvo por debajo de 38°C, evitando daños al embrión por altas temperaturas. El café pergamino seco obtenido se apiló y se procedió al empaque, pesaje, sellado y marcado de las bolsas. En total se conformaron 490 unidades experimentales de 1,0 kg de semilla cada una.

Descripción de tratamientos y diseño de muestreo

Los materiales de empaque evaluados correspondieron a bolsas de 1,0 kg, como se describe a continuación:

- **Tratamiento 1:** bolsa de polietileno calibre 6
- **Tratamiento 2:** bolsa de papel kraft
- **Tratamiento 3:** bolsa trilaminada de aluminio, papel y polietileno
- **Tratamiento 4:** bolsa de fique
- **Tratamiento 5:** bolsa de polietileno bilaminada

Las unidades experimentales se dispusieron sobre estantería plástica al interior del cuarto frío, según diseño experimental completamente aleatorio. A partir del tiempo cero, de forma mensual y durante 12 meses, se tomaron aleatoriamente de cada tratamiento ocho unidades experimentales, de cada una de ellas, mediante la técnica de cuarteo (Figura 1a), se obtuvieron 50 semillas, hasta completar 400 semillas, como corresponde con las Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas (*International Seed Testing Association*–ISTA, 2016), con las cuales se hicieron las pruebas de germinación en el laboratorio y se determinó el porcentaje de germinación (Figura 1b).

Mediciones

Antes de iniciar el almacenamiento en el cuarto frío se tomaron dos unidades experimentales por cada tratamiento, para determinar el porcentaje de germinación inicial (tiempo cero). La evaluación de esta investigación consistió en realizar pruebas de germinación mensuales a la totalidad de las unidades experimentales almacenadas.

Pruebas de germinación

El procedimiento para el montaje de las pruebas de germinación consistió en hacer la trilla manual de las semillas (eliminación del pergamino o endocarpio) (Figura 1c), después se sumergieron en una solución desinfectante Clorox® al 20% en agua, durante 1 hora, y por último se hicieron tres enjuagues con agua potable (Figura 1d). Las semillas desinfectadas se dispusieron en cajas plásticas sobre papel de germinación de semillas No. 76, humedecido con agua destilada (Figura 1e). Posteriormente, se ubicaron en una cámara de germinación (incubadora WTB – BINDER RD 7.20) en

condiciones de oscuridad a 25°C, durante 25 días. Durante este tiempo, diariamente se revisó la evolución de la germinación. Del día 0 al día 9 se rehumedeció cada muestra aplicando agua destilada con un rociador. A partir del

día 9, que es cuando comienza la protrusión radicular, y durante el resto de tiempo que duró la prueba hasta su evaluación, se fueron retirando las semillas que no germinaron y las que estaban contaminadas (Figura 1f).

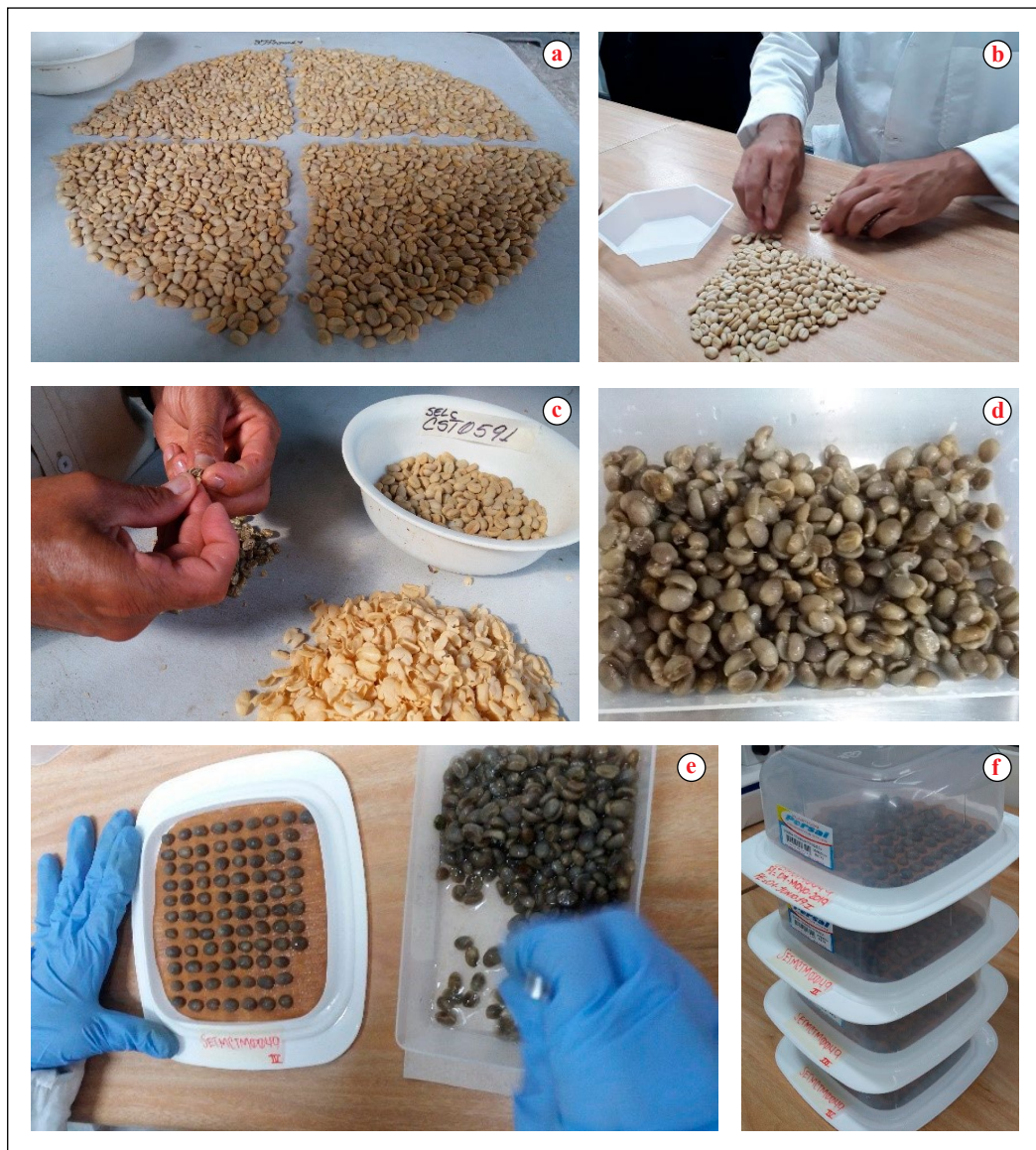


Figura 1. Procedimiento para el montaje de las pruebas de germinación.

La evaluación de la germinación consistió en contar el total de semillas germinadas a los 25 días, expresando esta cantidad en cifras porcentuales. Se asumió por semilla germinada, a los 25 días, la semilla que expuso una radícula de entre 1 y 2 cm de longitud (Aguilera, 1979).

Contenido de humedad

Durante el desarrollo de la investigación se midió el contenido de humedad a la totalidad de las muestras al momento de salir del cuarto frío, utilizando un determinador de humedad Kett PM-450.

Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico, en cada fecha de muestreo se estimó el promedio y el error estándar para la variable de respuesta porcentaje de germinación y se hizo análisis de varianza, bajo el modelo para el diseño completamente aleatorio al 5%, con dicha variable. Se aplicó la prueba de Tukey al 5%, para identificar el tratamiento con el mayor promedio de germinación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 ilustra los cambios en el contenido de humedad de la semilla durante el periodo de almacenamiento. La variación errática de la humedad de la semilla en los materiales de empaque papel y fique puede estar directamente relacionada con la baja barrera que estos ofrecen al vapor de agua, ocasionando variaciones de la humedad de equilibrio en su interior y provocando fluctuaciones en el contenido de humedad.

La germinación inicial fue de 96% con un error estándar de 0,94. En la Tabla 1 se presentan los resultados de la evaluación de los tratamientos durante los doce meses.

Como se aprecia en la Tabla 1, los tratamientos polietileno PE, trilaminado y polietileno PE bilaminado presentaron valores superiores al 91%, con excepción del trilaminado en el mes 6 y el polietileno PE bilaminado en el mes 12. Los promedios generales para estos tres tratamientos estuvieron entre 94,0% y 94,4%.

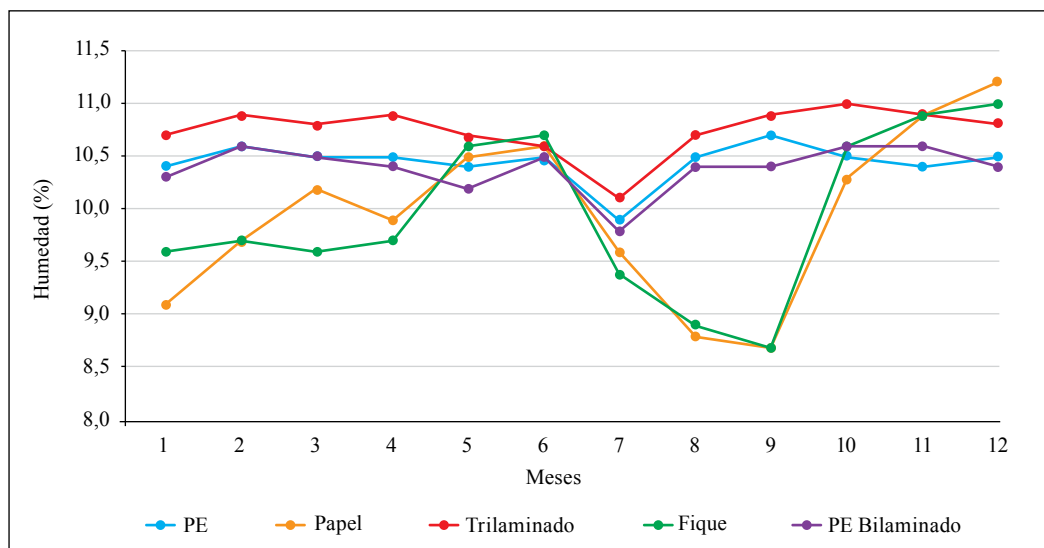


Figura 2. Cambios en contenido de humedad de la semilla durante el almacenamiento.

Tabla 1. Promedio y error estándar para el porcentaje de germinación por tratamiento.

Mes	Poliétileno PE		Papel		Trilaminado		Fique		Poliétileno PE bilaminado						
	Media	Error estándar	Media	Error estándar	Media	Error estándar	Media	Error estándar	Media	Error estándar					
1	94,3	1,3	93,0	1,3	90,8	2,3	92,0	1,1	93,0	2,3					
2	92,8	1,3	92,5	2,1	92,0	1,3	88,0	3,0	91,0	1,6					
3	96,0	0,8	89,5	1,4	96,3	0,9	91,5	0,5	95,5	0,8					
4	95,5	1,1	92,0	2,4	96,5	0,7	95,0	1,9	98,5	0,6					
5	96,3	1,3	96,0	0,9	97,5	0,5	93,0	2,1	95,5	1,6					
6	95,8	0,8	85,0	5,8	88,8	3,3	95,3	1,1	97,5	0,7					
7	93,5	1,1	86,8	3,0	95,3	1,5	87,3	2,8	93,0	1,4					
8	98,8	0,6	76,5	4,9	96,0	3,0	96,3	1,7	99,8	0,3					
9	91,3	2,0	76,3	3,0	94,0	1,0	81,5	2,6	91,5	3,2					
10	96,5	1,4	84,5	2,0	98,3	1,0	75,3	2,5	96,3	1,2					
11	91,0	1,6	87,5	3,1	93,0	1,6	79,8	2,6	92,3	2,4					
12	91,8	2,0	87,5	1,8	92,0	1,0	81,0	6,6	83,8	2,7					
General	94,4	A	0,4	87,3	B	1,0	94,2	A	0,6	88,0	B	1,0	94,0	A	0,6

* Letras no comunes, implica diferencias entre el promedio general de los tratamientos, según prueba de Tukey al 5%

El tratamiento papel presentó valores de germinación superiores al 84,5%, con excepción de los meses 8 y 9, donde descendió. El promedio general para el tratamiento papel fue de 87,3%. El tratamiento fique presentó valores superiores a 81,0%, con excepción de los meses 10 y 11 donde tuvo un descenso. El promedio general para el tratamiento fique fue de 88,0%.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que los materiales de empaque polietileno PE calibre 6, trilaminado y polietileno PE bilaminado, tuvieron mejor desempeño durante los doce meses que duró la investigación, porque mantuvieron la germinación de la semilla por encima del 94,0% en promedio. Probablemente esto se deba a la mayor barrera física que tienen, lo cual permite una condición de humedad de equilibrio al interior de estos, sin que la semilla se vea expuesta a cambios bruscos en su contenido de humedad. A su turno, los materiales de empaque papel kraft y fique, comparados con los otros tres que se evaluaron en este estudio, tuvieron un desempeño inferior, afectando en mayor grado la germinación de la semilla, con descensos importantes a partir del sexto mes, ubicándola entre 87,3% y 88,0% en promedio, pero con valores mínimos de 76,3% y 75,3%, respectivamente.

Investigaciones sobre almacenamiento de semillas de café, realizadas en el Instituto Agronómico de Campinas, Brasil, en el año 1959, permitieron a Eira et al. (1999) escribir protocolo de almacenamiento para mantener la viabilidad de las semillas de *C. arabica*, con 10,0% a 11,0% de contenido de humedad, en empaques herméticos, a 10°C (Eira et al., 2006). Estos resultados coinciden, en parte, con los resultados obtenidos en esta investigación, donde los empaques de mayor hermeticidad (polietileno

PE calibre 6, trilaminado y polietileno PE bilaminado) tienen mejor desempeño en mantener la viabilidad de la semilla por más tiempo.

Nasiro et al. (2017), según los resultados de sus investigaciones realizadas en el Instituto Etíope de Investigación Agrícola, en Jimma (Etiopía), recomiendan el almacenamiento a 15°C, hasta por seis meses, de semillas de *C. arabica*, con contenido de humedad entre 17% y 22%.

Los materiales polietileno PE calibre 6, trilaminado y polietileno PE bilaminado, son empaques que permiten el almacenamiento de la semilla *C. arabica*, en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa (10,5°C y 65% HR, en promedio) como en esta investigación, por períodos de un año.

Los materiales papel kraft y fique tienen una fortaleza importante en cuanto a la protección ambiental porque son biodegradables y en el estudio mostraron aptitud para ser usados como empaque para la semilla de *C. arabica*. Teniendo en cuenta que a partir del sexto mes la semilla de café perdió potencial de germinación, se concluye que estos materiales de empaque pueden ser utilizados para el almacenamiento por periodos cortos, inferiores a seis meses, bajo las condiciones de temperatura y humedad relativa estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

A los asesores y colaboradores que participaron en esta investigación. Carlos Gonzalo Mejía, Jhon Félix Trejos, José Farid López, Alejandra Garcés, Disciplina de Experimentación; Ricardo Acuña Z. y Natalia Flechas, Disciplina Fisiología; Rubén Medina y Esther Cecilia Montoya, Disciplina de Biometría; Juan Carlos García, Ninibeth

Sarmiento, Wilmar Rendón y Luis Torres, Disciplina de Agroclimatología; Paulo Arias y Mario López, Gestión de Bienes y Servicios-Mantenimiento; Steven Giraldo, Benjamín

Sánchez, Jaime Reinoso, Diego Ospina Tirado, Acciones y Servicios, y otros colaboradores de la Estación Experimental Naranjal. Fuente de financiación: recursos propios, FIS102007.

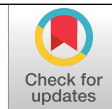
LITERATURA CITADA

- Abreu, L. A. de S., Veiga, A. D., Von Pinho, É. V. de R., Monteiro, F. F., & Rosa, S. D. V. F. (2014). Behavior of coffee seeds to desiccation tolerance and storage. *Journal of Seed Science*, 36(4), 399–406. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n41008>
- Aguilera, H. E. (1979). *Almacenamiento de semillas de café* [Tesis de Maestría]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Arcila Pulgarín, J. (1988). Aspectos fisiológicos de la producción de café (*Coffea arabica* L.). En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Tecnología del cultivo del café* (2a ed., pp. 60–111). Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafé.org/handle/10778/717>
- Bendaña, F. E. (1962). Fisiología de las semillas de café: Problemas relativos al almacenamiento. *Café*, 4(15), 93–96.
- Castaño, R. D., & Restrepo, M. (1980). *Influencia del contenido de humedad, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre la viabilidad y vigor de semillas de café Coffea arabica L.* [Tesis de pregrado]. Universidad de Caldas.
- Da Silva, E. A. (2002). *Coffee (Coffea arabica cv. Rubi) seed germination: Mechanism and regulation* [Tesis de Doctorado, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/192247>
- De Castro, R. D., Estanislau, W. T., Carvalho, L.M.M., & Hilforst, H. W. M. (2004, October 11-15). Functional Development and Maturation of Coffee (*Coffea arabica*) Fruits and Seeds. *Proceedings 20th International scientific Colloquium on Coffee*. Salvador, Bangalore, India.
- Dedecca, D. M. (1957). Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *Typica* Cramer. *Bragantia*, 16(23), 315–366. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051957000100023>
- Dentan, E. (1985). The Microscopic Structure of the Coffee Bean. En M. N. Clifford & K. C. Willson (Eds.), *Coffee* (pp. 284–304). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_12
- Dussert, S., Chabrilange, N., Engelmann, F., & Hamon, S. (1999). Quantitative estimation of seed desiccation sensitivity using a quantal response model: Application to nine species of the genus *Coffea* L. *Seed Science Research*, 9(2), 135–144. <https://doi.org/10.1017/S096025859900015X>
- Eira, M. T. S., Silva, E. A. A. da, De Castro, R. D., Dussert, S., Walters, C., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. M. (2006). Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 149–163. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>
- Estanislau, W. T. (2002). *Modelo funcional de desenvolvimento de sementes de cafeeiro (Coffea arabica L.)* [Tesis de Maestría, Universidade Federal de Lavras]. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/34610>
- Giorgini, J. F., & Campos, C. A. S. P. (1992). Changes in the content of soluble sugars and starch synthesis and degradation during germination and seedling growth of *Coffea arabica* L. *Revista Brasileira de de Fisiologia Vegetal*, 4(1), 11–15.
- Huxley, P. A. (1964). Some factors which can regulate germination and influence viability of coffee seeds. *Proceedings International Seed Testing Association*, 29(1), 33-60.
- King, M. W., & Roberts, E. H. (1979). *The storage of recalcitrant seeds: Achievements and possible approaches*. International Board for Plant Genetic Resources.
- Krug, C. A., & Carvalho, A. (1939). Genetical Proof of the Existence of Coffee Endosperm. *Nature*, 144(3646), 515–515. <https://doi.org/10.1038/144515a0>
- Nasiro, K., Shimer, T., & Mohammed, A. (2017). Germination and Seedling Growth Rate of Coffee (*Coffea arabica* L.) Seeds as Influenced by Initial Seed Moisture Content, Storage Time and Storage Condition. *Food Science and Quality Management*, 70, 17–24. <https://iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/40240/41385>
- Roberts, E. H. (1973). Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, 1(3), 499–514.
- The International Seeds Testing Association. (2016). *Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas*. ISTA.

EFFECTO DEL SECADO CON COMBUSTIÓN DIRECTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE CAFÉ

Laura Vanessa Quintero Yepes *, Nelson Rodríguez Valencia *, Aristóteles Ortiz **

Quintero-Yepes, L., Rodríguez-Valencia, N., & Ortiz, A. (2022). Efecto del secado con combustión directa de Gas Licuado de Petróleo (GLP) sobre la composición química del grano de café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73204. <https://doi.org/10.38141/10778/73204>



En el proceso de secado mecánico del café se emplea un intercambiador de calor para calentar el aire sin contaminar el grano de café con los gases generados durante la combustión. Sin embargo, si se utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP) como combustible para reducir los costos del proceso, los secadores se instalan sin intercambiador de calor, asumiendo que la combustión del GLP es una combustión limpia. No obstante, se desconoce si los gases de combustión generados contaminan el café. Teniendo en cuenta lo anterior, se evaluó el efecto del secado con combustión directa del GLP en la composición química del grano. Para ello se realizaron caracterizaciones cromatográficas al café sin pergamino, con el fin de determinar la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Como testigo, se obtuvieron muestras de café provenientes del proceso de secado utilizando resistencias eléctricas para calentar el aire de secado. De acuerdo con los resultados, no se detectó la presencia de HAPs en la mayoría de las muestras caracterizadas. En las muestras donde se presentaron estos compuestos, los valores estuvieron entre 0,08 y 4,1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, valores que están por debajo de los límites máximos establecidos en el Reglamento de la Unión Europea, en el cual se permiten contenidos entre 5 y 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$, dependiendo del tipo de alimento. En cuanto al análisis sensorial, ninguna de las muestras presentó defectos en taza, alcanzándose valores de un café comercial en escala de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) entre 80,09 y 82,69 puntos sobre 100. Por lo tanto, se concluye que los caficultores podrían hacer uso de secadores sin intercambiador de calor, utilizando como combustible el GLP, si se tienen en cuenta las condiciones de operación dadas por el fabricante y los flujos de aire y combustible apropiados.

Palabras claves: Análisis sensorial, compuestos tóxicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, secado mecánico, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF DIRECT DRYING OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF COFFEE BEANS

In the mechanical coffee drying process, a heat exchanger is used to heat the air without contaminating the coffee beans with combustion gases. However, if Liquefied Petroleum Gas (LPG) is used as fuel to reduce the costs of the process, the dryers are installed without a heat exchanger, assuming that the LPG combustion is clean, but it is unknown if the gases generated contaminate coffee. This is how the drying effect with direct LPG combustion on the chemical composition of the grain was evaluated. Chromatographic characterizations were performed on coffee without parchment in order to find the presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), and coffee samples were obtained from the drying process using electrical resistors to heat the drying air as control groups. PAHs were not found in most of the characterized samples, those with these compounds had values between 0.08 and 4.1 $\mu\text{g kg}^{-1}$, below the maximum limits established in the European Union Regulation, with acceptable values between 5 and 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$, depending on the type of food. As for the sensory analysis, none of the samples showed cup defects, they had commercial coffee values between 80.09 and 82.69 points out of 100, on the scale of the Association of Special Coffees. In conclusion, coffee growers could use dryers without heat exchanger, using LPG as fuel, if they consider the operating conditions given by the manufacturer and the appropriate air and fuel flows.

Keywords: Sensory analysis, toxic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons, mechanical drying, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790> y <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

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



En algunas regiones cafeteras las condiciones climáticas en la época de cosecha no son favorables para el secado solar del café, aún en pequeña escala, por la baja temperatura, la alta humedad relativa y el bajo brillo solar, dichas condiciones aumentan el tiempo de secado y a su vez afectan la calidad del producto. Por ello, se ha promovido el uso de secadores de baja capacidad (desde 94 kg de café pergamino seco, cps) como complemento al secado solar o como única alternativa (Oliveros et al., 2013).

El secado mecánico del café se hace en cámaras en la cuales se introduce aire caliente impulsado por un ventilador, el cual atraviesa la masa de café. Un secador mecánico consta de una, dos o tres cámaras con piso perforado, donde se deposita el café, un calentador del aire de tipo indirecto, un ventilador que entrega el caudal de aire para el secado del café y un dispositivo para el suministro de combustible (Oliveros et al., 2009).

En los secadores mecánicos de capa estática, el aire se calienta hasta una temperatura de 50°C y el tiempo para secar el café, hasta una humedad entre 10% y 12%, varía de 18 a 24 h. Para calentar el aire se utilizan diferentes combustibles (cisco de café, carbón mineral, combustible diésel o aceite combustible para motores [ACPM] y Gas Licuado de Petróleo [GLP]). Cuando se utilizan combustibles sólidos o líquidos se emplea un intercambiador de calor, el cual es un dispositivo donde se transfiere la energía térmica obtenida en la combustión, sin contaminar el aire de secado con los gases generados durante la misma (Oliveros et al., 2009).

Cuando se emplea GLP como combustible, usualmente, los secadores se instalan sin intercambiador de calor; sin embargo, por tratarse de un producto para el consumo humano, se recomienda evitar el contacto

directo de los gases de combustión con los granos de café (Roa et al., 2000), ya que se desconoce si estos gases de combustión contaminan el café con compuestos tóxicos para la salud humana.

El GLP es una mezcla de propano (C₃H₈), butano (C₄H₁₀), con proporciones menores de etano (C₂H₆), etileno (C₂H₄), propeno (C₃H₆), buteno (C₄H₈) y pentano (C₅H₁₂). Los compuestos del GLP pueden variar de acuerdo al clima donde es producido, pudiendo presentar altas concentraciones de propano y propeno en climas fríos, o de butano y buteno en climas cálidos. Sumado a esto, la composición química de este producto también depende de su fuente de obtención; puede obtenerse por rompimiento catalítico en refinerías de petróleo o por procesos de separación continua del gas natural; igualmente pueden presentar componentes químicos externos como resultado de contaminación por prácticas inadecuadas de almacenamiento y transporte (Gerena, 2017).

El GLP es un combustible más sencillo que la biomasa, desde el punto de vista molecular, y al tener un mayor poder calorífico que ésta, brinda una combustión más eficiente y limpia, con menos emisiones, que reduce el riesgo de intoxicación por formación de monóxido de carbono y de adquirir enfermedades respiratorias crónicas. Esta diferencia en la estructura molecular del GLP en comparación con la biomasa, radica principalmente en el número de carbonos, ya que el primero posee máximo cuatro, mientras que la madera está constituida por polímeros orgánicos complejos como la lignina, compuestos por 30, 50 o más átomos de carbono (Asociación Colombiana del GLP-GASNOVA, 2019).

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor que se produce entre dos elementos: el combustible,

que puede ser un sólido (carbón, madera, cisco, entre otros), un líquido (diésel, gasolina) o un gas (metano, propano, butano) y el comburente (oxígeno). La combustión puede ser completa, cuando las sustancias combustibles se queman hasta el máximo grado posible de oxidación, o incompleta, cuando el combustible no se oxida completamente y se forman sustancias que pueden seguir oxidándose, las cuales se denominan inquemados. Estas sustancias son los contaminantes más comunes que llegan a la atmósfera en los gases de combustión (Barrera, 2018).

Se ha comprobado que el contacto directo de semillas de aceite o cereales con productos de combustión durante los procedimientos de secado da lugar a la formación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), y por lo tanto debería evitarse. El Informe Conjunto del Comité de Expertos FAO-OMS sobre Aditivos Alimentarios (JECFA) recomienda que el contacto de alimentos con los gases de combustión se reduzca al mínimo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organizació, 2009).

Los HAPs constituyen un conjunto de compuestos químicos formados por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H) que contienen dos o más núcleos aromáticos; se encuentran de forma natural en el petróleo, el carbón, depósitos de alquitrán y como productos de la combustión. Como contaminantes, han despertado preocupación debido a que algunos compuestos han sido identificados como cancerígenos (AESAN, 2020). En general, son un grupo de más de 200 sustancias químicas diferentes; sin embargo, la regulación Europea ha seleccionado 17, los cuales tienen efectos cancerígenos: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[e]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[g,h,i]perileno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, criseno, dibenzo[a,h]

antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno[1,2,3-c,d]pireno, fenantreno y pireno. El Reglamento (UE) N° 835/2011 y El Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión Europea, establecen valores permisibles para el benzo(a) pireno entre 1 y 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para diferentes alimentos; sin embargo, el café no se contempla en esta normativa. Como referencia se toman los valores permisibles para cacao, que se encuentran entre 5 y 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$, valores por debajo de 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ están estipulados para alimentos de consumo infantil y algunos alimentos de consumo directo, lo cual no aplica para el café (UE, 2020; UE, 2012).

Existen pocos datos relacionados con la contaminación del café con HAPs, los estudios que se encuentran están enfocados en la determinación de este tipo de sustancias químicas en el proceso de tostado (Roudbari et al., 2021; Ciecierska et al., 2019), pero no se encuentran datos relacionados con la presencia de estas sustancias en el proceso de secado con combustión directa de GLP. Por estas razones, este trabajo de investigación tuvo como propósito determinar el efecto del secado con combustión directa de gas licuado de petróleo sobre la composición química del grano de café y su calidad en taza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló en la Unidad de Beneficio de Semilla de Cenicafé (Manizales, Caldas), se tuvo como unidad experimental 12 kg de café lavado, obtenido a partir del proceso de beneficio recomendado por Cenicafé para el café comercial (Sanz-Uribe et al., 2013) y se utilizó café proveniente de la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas). El secado se realizó en un equipo mecánico de capa estática sin intercambiador de calor, utilizando como fuente de energía calórica la combustión de GLP, calentando el aire hasta una temperatura de $50\pm 1^\circ\text{C}$. Se tuvo como

testigo, café pergamino seco obtenido con secado mecánico utilizando resistencias eléctricas, dado que es la alternativa que se le puede dar al productor de café para que adapte los secadores que utilizan GLP. Los procesos de secado se detuvieron cuando el café llegó a una humedad entre el 10% y 12% (en base húmeda).

El efecto de los procesos de secado con GLP (tratamientos), se evaluó bajo el diseño experimental completamente aleatorio, con diez unidades experimentales, con las cuales la potencia de la prueba en los compuestos de interés (hidrocarburos aromáticos) que presentaron diferencias con respecto al testigo fue mayor del 90% y en los compuestos que no presentaron diferencias, el error tipo II, fue menor al 2%, de acuerdo a los análisis realizados en la investigación.

Previo al diseño anterior, se realizó una caracterización por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (CG-MS), al gas utilizado en el proceso de secado (GLP) y a los gases de combustión generados, con el fin de identificar posibles compuestos tóxicos para la salud humana que pudieran ser absorbidos por el grano de café y tenerlos en cuenta en las caracterizaciones posteriores. De igual forma, para evaluar el comportamiento del secado a una condición extrema, se simuló la combustión incompleta del gas (Figura 1) lo cual se evidenció en el color amarillo de la llama. Lo anterior se logra por el exceso de combustible en el proceso, la prueba se realizó bajo estas condiciones con el fin de determinar el efecto de este tipo de combustión (condición extrema) sobre la composición química del grano sin pergamino. En total, se realizaron tres evaluaciones. La determinación de HAPs en la muestras de café sin pergamino se realizó por parte de un laboratorio externo.

Una vez realizadas las evaluaciones de secado bajo la condición de combustión

incompleta, se procedió a realizar la evaluación de acuerdo al diseño experimental establecido, que consistió en realizar el proceso de secado bajo las condiciones de operación dadas por el fabricante, utilizando los flujos de aire y combustible que permitieran una combustión bajo condiciones adecuadas que se caracteriza por la presencia de una llama de color azul (Figura 2). Para esta condición, se realizó una caracterización por cromatografía de gases (cromatógrafo HP6890) con detector selectivo de masas (HPMS7953) a cada una de las unidades experimentales de cada tratamiento, con el fin de obtener el porcentaje presente de hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos (variable respuesta). Tres de estas muestras fueron enviadas a un laboratorio externo para determinar la presencia de HAPs y contrastar los resultados con los obtenidos en Cenicafé. Las muestras enviadas al laboratorio externo se caracterizaron mediante dos métodos diferentes: extracción en fase sólida (SPE) con un nivel de detección hasta $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ y microextracción en fase sólida (SPME) con un nivel de detección hasta 80 ng kg^{-1} .

Adicionalmente, se determinó la calidad en taza (variable complementaria) del café procesado en cada una de las condiciones (combustión directa del GLP y secado mecánico con resistencias eléctricas), utilizando la metodología establecida por el panel de catación de Cenicafé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los gases de combustión y del aire de secado

Se realizó la toma de muestras al gas proveniente del cilindro que se utilizó en las pruebas y al aire de secado conteniendo los gases de combustión (Figura 3).



Figura 1. Apariencia de la llama en las pruebas de secado realizadas con combustión incompleta del GLP.



Figura 2. Apariencia de la llama en las pruebas de secado realizadas con combustión, bajo condiciones adecuadas, del GLP.



Figura 3. Toma de muestras al gas (GLP) utilizado y al aire de secado conteniendo los gases de combustión.

En la Figura 4 se describe la cromatografía obtenida en el análisis de las muestras GLP. Los cromatogramas fueron normalizados para obtener el área bajo la curva y, por lo tanto, la distribución porcentual de cada uno de los compuestos identificados. En las Figuras 5 y 6 se presenta la distribución porcentual de los compuestos encontrados, tanto en el gas utilizado como en los gases de combustión presentes en el aire de secado, cuando se realizó el proceso de combustión

bajo condiciones adecuadas. Como se observa en la Figura 5, el GLP utilizado en las pruebas estuvo compuesto principalmente por butano (49%) y por 2-metil propeno (29%), siendo el contenido de propano solamente del 3,68%, lo que confirma lo reportado en la literatura que indica que la composición de los cilindros de GLP es variable y depende de la zona del país donde se comercializan y del método de extracción utilizado.

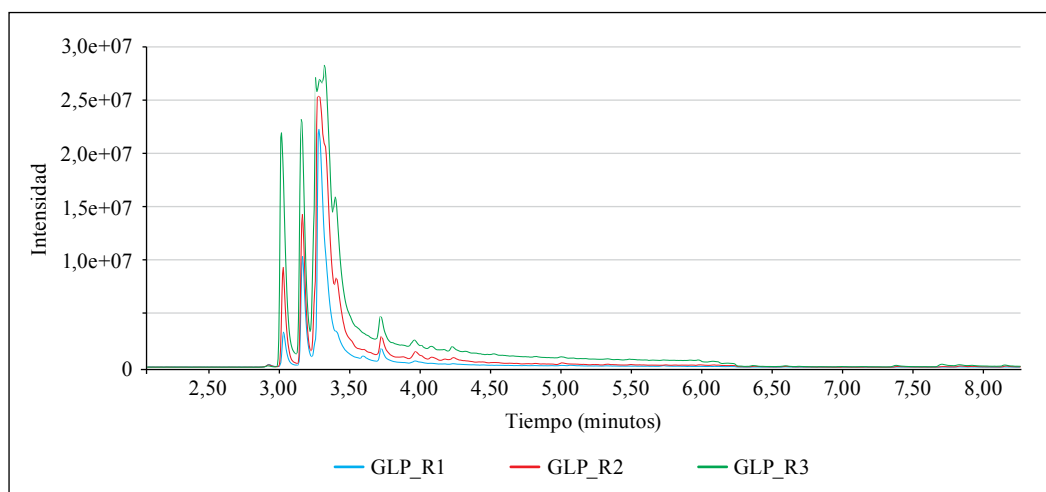


Figura 4. Cromatograma para las muestras de GLP.

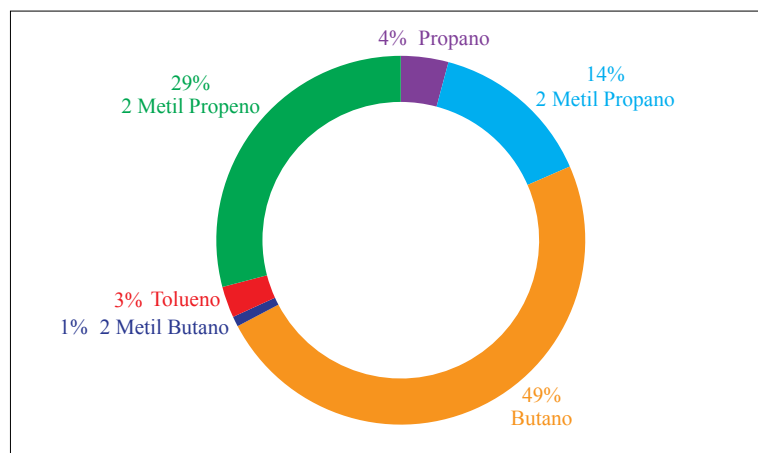


Figura 5. Distribución porcentual promedio de los compuestos encontrados en el GLP.

En la Figura 6, el contenido de gases de combustión, cuando se realiza una combustión bajo condiciones adecuadas, presentes en el aire de secado, se encontró que el butano fue el compuesto predominante (3,68%) y se registró un porcentaje de tolueno del 0,01% (compuesto tóxico para la salud humana), por lo que fue necesario determinar su presencia en los granos de café sin pergamino.

Proceso de secado con combustión incompleta del GLP

Cuando se realizó el proceso de secado con combustión incompleta (condición extrema), el café pergamino y las almendras obtenidas se tornaron negros (Figura 7).

De acuerdo a las caracterizaciones realizadas mediante extracción en fase sólida (SPE), no se evidenció la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los granos de café. Por ello se realizó la caracterización de las muestras bajo la técnica de microextracción en fase sólida (SPME), con el fin de determinar la presencia de estos compuestos a concentraciones más bajas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en la caracterización.

Según los resultados bajo las condiciones establecidas en esta primera prueba, no se encontró la presencia de HAPs en los granos de café sin pergamino, en ninguno de los dos métodos de caracterización utilizados. En algunas muestras se reportó un valor inferior al límite de detección $0,08 \mu\text{g kg}^{-1}$, que está por debajo de los límites máximos permisibles en alimentos según el Reglamento (UE) N° 835/2011 y el Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión Europea, que establecen valores entre 5 y $50 \mu\text{g kg}^{-1}$, dependiendo el tipo de alimento (para café no están regulados este tipo de compuestos), y valores menores a $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ hacen referencia a alimentos de consumo infantil o de consumo directo (UE, 2020).

En esta primera etapa de la investigación se determinó que, cuando hay procesos de combustión incompleta en el proceso de secado, utilizando GLP como combustible, no hay presencia de HAPs en el café sin pergamino; sin embargo, se presenta una afectación en la calidad física (café pergamino y sin pergamino negro). Por lo tanto, no es apropiado que esta condición se presente cuando se está realizando el proceso de secado con GLP ya que se disminuye el precio de venta y podría afectar la calidad en taza.

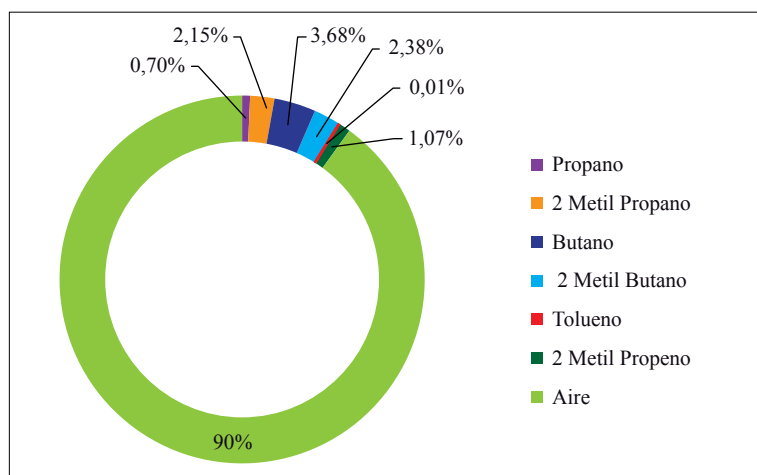


Figura 6. Distribución porcentual promedio de los gases de combustión en los compuestos encontrados en el aire de secado cuando se realizó una combustión bajo condiciones adecuadas.



Figura 7. Apariencia del café pergamino seco y del café en almendra después de la prueba de secado con combustión incompleta.

Tabla 1. Caracterización de los HAPs presentes en el café sin pergamino, obtenidos en un proceso de secado con combustión incompleta mediante la técnica SPME.

Compuesto	Concentración ppt (ng kg ⁻¹)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Naftaleno	0	<80	<80
Acenaftileno	<80	<80	<80
Fluoreno	<80	<80	<80
Fenantreno	<80	0	<80
Antraceno	0	0	0
Fluoranteno	0	0	0
Pireno	0	0	0

Proceso de secado con combustión bajo condiciones adecuadas

De igual forma que en la primera etapa de la investigación (combustión incompleta) se realizó una caracterización inicial del café sin pergamino obtenido en el proceso, mediante

extracción en fase sólida (SPE); sin embargo, no se evidenció la presencia de HAPs. Teniendo en cuenta lo anterior, y con el fin de realizar una caracterización más precisa se realizó la caracterización de las muestras bajo la técnica de microextracción en fase sólida (SPME). En la Tabla 2 se presentan los resultados.

Tabla 2. Caracterización de los HAPs presentes en el café sin pergamino obtenidos en un proceso de secado con combustión bajo condiciones adecuadas mediante la técnica SPME.

Compuesto	Concentración ppt (ng kg ⁻¹)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Naftaleno	<80	<80	<80
Acenaftileno	0	4.135	<80
Fluoreno	<80	850	<80
Fenantreno	0	0	0
Antraceno	0	0	0
Fluoranteno	0	0	0
Pireno	0	0	0

De acuerdo a los análisis realizados no se encontró presencia de HAPs en la mayoría de las muestras caracterizadas por el laboratorio externo; en las muestras donde se presentaron estos compuestos los valores estuvieron entre < 0,08 µg kg⁻¹ y 4,1 µg kg⁻¹ (solo en una muestra para el compuesto acenaftileno) valores que están por debajo de lo establecido en el Reglamento de la Unión Europea (entre 5 y 50 µg kg⁻¹ dependiendo el tipo de alimento) (UE, 2020).

En Cenicafé se realizó una caracterización por cromatografía de gases con detector selectivo de masas (CG-MS) a los granos de café sin pergamino obtenidos en el proceso de combustión adecuada, buscando un perfil cromatográfico con los principales compuestos presentes. De igual forma se compararon los compuestos obtenidos con los de un patrón de HAPs (EPA Method 8310 PAH Mixture) para identificar la presencia de estos hidrocarburos en las muestras. Dicho análisis se realizó tanto a las muestras provenientes del proceso de secado utilizando resistencias eléctricas (testigo), como a las muestras del proceso

de secado con combustión directa de GLP (Figura 8).

En la Figura 9 se presenta uno de los cromatogramas obtenidos en las caracterizaciones realizadas, al cual, una vez generado, se le realizó la parametrización para obtener el área bajo la curva, determinando los porcentajes de distribución de los compuestos encontrados en las muestras.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la distribución porcentual promedio y error de estimación de los compuestos encontrados, agrupados por grupo funcional, en las muestras de café provenientes de un proceso de secado con combustión adecuada del GLP y en las provenientes del secado utilizando resistencias eléctricas (testigo).

De acuerdo con los perfiles cromatográficos de las muestras analizadas, en total se identificaron 32 compuestos tanto en las muestras de café provenientes del secado con combustión del GLP como en las muestras del testigo, distribuidas en siete

grupos funcionales: alcohol, aldehído, ácido, cetona, éster, alcano e hidrocarburo aromático. Los porcentajes presentados en la tabla corresponden a la proporción del grupo funcional en los 32 compuestos identificados, y no a la composición total de los granos de café. Se encontró en mayor proporción el grupo de alcoholes (69,16% GLP y 70,69% testigo). Los porcentajes encontrados corresponden a la distribución normal de este tipo de

compuestos en muestras de café (Puerta, 2011; Peralta, 2011). En cuanto al grupo de los hidrocarburos aromáticos se encontró un porcentaje promedio del 0,53% en las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP y un 4,18% en las muestras del testigo, el mayor valor encontrado en éstas puede estar relacionado con malas prácticas en los procesos de cosecha y poscosecha del café.



Figura 8. Aspecto de las muestras de café analizadas mediante CG-MS.

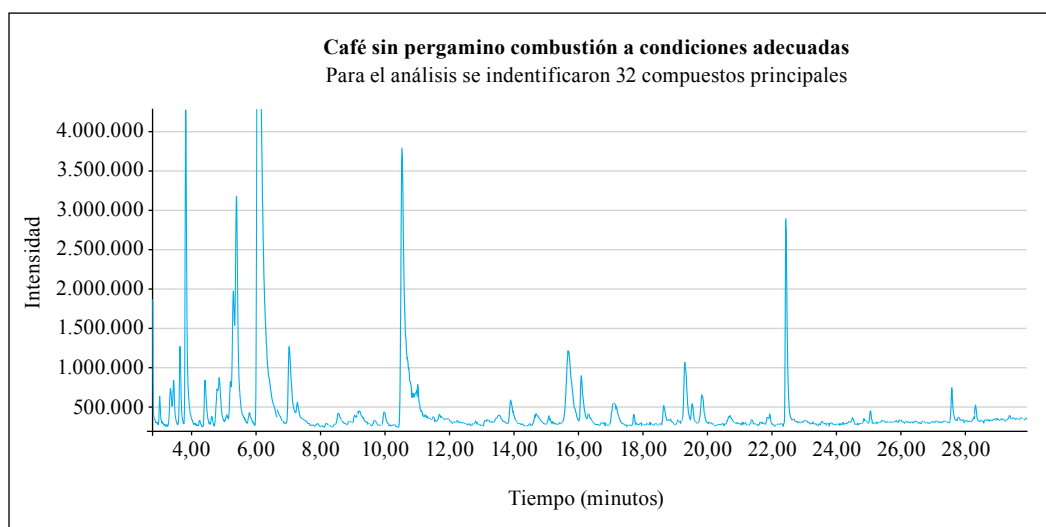


Figura 9. Cromatograma para una de las muestras de café sin pergamino (secado con GLP).

Tabla 3. Promedio y error de estimación del porcentaje de los grupos funcionales encontrados.

Grupo funcional	GLP		Testigo			
	Promedio (%)	Error estimación (%)	Promedio (%)	Error estimación (%)		
Ácido	8,16	a	3,19	2,88	b	0,47
Alcano	0,25	a	0,03	0,09	a	0,05
Alcohol	69,16	a	4,10	70,69	a	8,61
Aldehído	8,84	a	1,28	10,70	a	3,47
Cetona	9,12	a	0,62	9,78	a	3,33
Éster	3,95	a	1,30	1,69	b	0,41
Hidrocarburo Aromático	0,53	b	0,38	4,18	a	0,81

Para cada grupo funcional, letras no comunes indican diferencias estadísticamente significativas al 5%, según prueba Welch al 5%

Los mayores contenidos en ácidos y esteres presentes en las muestras secadas con GLP y que difieren estadísticamente de las muestras testigo pudieron estar relacionados con los tiempos de secado que fueron un poco mayores cuando se utilizó el gas licuado de petróleo. No obstante, los contenidos de estos grupos funcionales son bajos en ambas muestras pues sus porcentajes están relacionados con menos del 5% de la composición total del café evaluado.

En cuanto a los HAPs, no se encontró alguno de los 17 compuestos considerados como cancerígenos, ni en las muestras provenientes del secado con combustión directa del GLP ni en las muestras del testigo. No obstante, se detectaron otro tipo de hidrocarburos aromáticos, a bajas concentraciones (tolueno, dimetilbenceno, etilbenceno y dietilbenceno). En la Tabla 4 y en la Figura 10 se presentan los promedios de los porcentajes de los hidrocarburos aromáticos encontrados en las muestras provenientes del secado con combustión directa del GLP y en el testigo, y los errores de estimación.

De acuerdo con los resultados, en todos los casos y para todos los compuestos encontrados, se presentaron porcentajes en la distribución de los hidrocarburos aromáticos (tolueno, dimetilbenceno, etilbenceno y dietilbenceno) más altos en el testigo (secado con resistencias eléctricas) que en las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP. El compuesto que se obtuvo en mayor proporción en el secado con combustión directa del GLP fue el tolueno, con un porcentaje promedio de presencia del 0,17%, y para el testigo el compuesto predominante fue el 1,3 dimetil benceno, con un porcentaje promedio de 1,30%. Sin embargo, las cantidades encontradas en ambas condiciones fueron muy bajas, ya que los 32 compuestos encontrados representaron en su totalidad un porcentaje menor al 5% de la composición total del grano.

La presencia de los hidrocarburos aromáticos encontrados en las muestras de café está asociada a su presencia en fuentes externas (agua, aire o agroquímicos que hayan estado en contacto con el grano) o en otras etapas del proceso del

cultivo y beneficio. Considerando que los granos de café sin pergamino no son un alimento de consumo directo y que después de obtenerlos se someten a un proceso de tostión, en el cual estos compuestos se volatilizan (la temperatura de ebullición del tolueno es de 110,6°C y la del 1,3 dimetil benceno es de 144°C, inferiores a las temperaturas a las cuales se tuesta el café que están en el rango entre 185 y 240°C), se considera que las concentraciones encontradas no ponen en riesgo la salud de las personas que consuman el café.

Tanto para las muestras de café provenientes del secado con combustión directa del GLP como para las muestras procesadas mediante el uso de resistencias eléctricas, se realizó el análisis sensorial, de acuerdo con la metodología establecida por el panel de catación de Cenicafé. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

De acuerdo con los resultados del análisis sensorial realizado tanto a las muestras de

café provenientes del secado con combustión directa del GLP como a las muestras del testigo, no se presentaron defectos en taza, con puntajes entre 80,09 y 82,69 de acuerdo a la escala de la Asociación de Cafés Especiales (Osorio, 2021).

Bajo las condiciones evaluadas y para el tipo de GLP utilizado en la investigación, la combustión directa del GLP como alternativa de secado no generó sustancias tóxicas en el grano de café (tomando como referencia la Normativa Europea UE, 2020) y no afectó la calidad física ni en taza, ya que los puntajes en la escala SCA estuvieron por encima de los 80 puntos y los porcentajes de almendra sana por encima del 75% (Osorio, 2021). Por lo tanto, los caficultores pueden utilizar secadores sin intercambiador de calor con GLP como combustible, siguiendo las recomendaciones y condiciones de operación determinadas por el fabricante y los flujos de aire y combustible apropiados.

Tabla 4. Promedio y error de estimación del porcentaje de hidrocarburos aromáticos identificados.

Compuesto	GLP			Testigo		
	Promedio (%)		Error estimación (%)	Promedio (%)		Error estimación (%)
1,2 dimetil benceno	0,05	b	0,05	0,81	a	0,26
1,3 dimetil benceno	0,12	b	0,14	1,30	a	0,29
1,4 dimetil benceno	0,03	b	0,03	0,23	a	0,09
Etil benceno	0,08	b	0,05	0,52	a	0,11
Dietilbenceno	0,07	b	0,09	0,77	a	0,26
Tolueno	0,17	b	0,05	0,55	a	0,14

Para cada compuesto, letras no comunes indican diferencias estadísticamente significativas al 5%, según prueba LSD al 5%

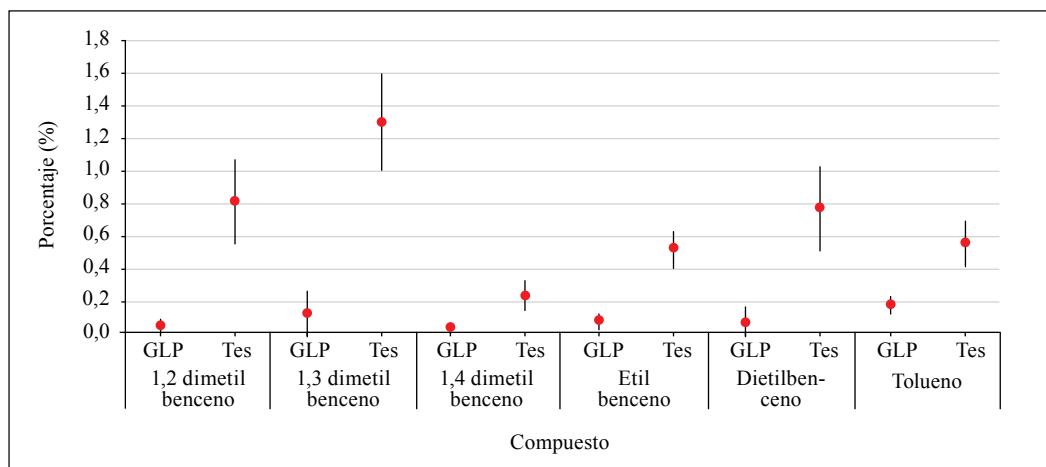


Figura 10. Distribución porcentual de los hidrocarburos aromáticos en los 32 compuestos encontrados tanto para el testigo como para GLP.

Tabla 5. Análisis sensorial de las muestras de café.

Muestra	Puntaje SCA	Taza
Combustión R1	80,75	Sin defecto
Combustión R2	80,38	Sin defecto
Combustión R3	80,09	Sin defecto
Combustión R4	80,70	Sin defecto
Combustión R5	80,40	Sin defecto
Combustión R6	81,10	Sin defecto
Combustión R7	82,10	Sin defecto
Combustión R8	81,19	Sin defecto
Combustión R9	81,63	Sin defecto
Combustión R10	81,31	Sin defecto
Testigo R1	81,44	Sin defecto
Testigo R2	81,56	Sin defecto
Testigo R3	81,31	Sin defecto
Testigo R4	80,69	Sin defecto
Testigo R5	80,94	Sin defecto
Testigo R6	81,31	Sin defecto
Testigo R7	81,10	Sin defecto
Testigo R8	82,69	Sin defecto
Testigo R9	81,81	Sin defecto
Testigo R10	81,75	Sin defecto

AGRADECIMIENTOS


A los auxiliares Samuel Castañeda, Javier Velázquez y al Ing. Jhon Félix Trejos por su apoyo en la ejecución de la investigación. A los doctores Juan Rodrigo

Sanz, Aída Peñuela y a la Disciplina de Biometría por el apoyo en el análisis de los resultados. Al panel de catación de Cenicafé por el apoyo en el análisis sensorial de las muestras de café. Fuente de financiación: recursos propios, POS103007.

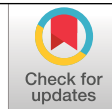
LITERATURA CITADA

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2020). Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (Seguridad Alimentaria, p. 6) [Ficha técnica]. Ministerio de Consumo de España. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/HAPs_ficha_SEPT_2020.pdf
- Asociación Colombiana del GLP–GASNOVA. (2019). Informe del sector del GLP 2019. <http://www.gasnova.co/wp-content/uploads/2019/08/INFORME-DEL-SECTOR-DEL-GLP-2019.pdf>
- Barrera Puigdollers, M. C., Castelló Gómez, M. L., Betoret Valls, N., & Pérez Esteve, E. (2018). Principios Básicos de la Combustión (Tecnología de la alimentación) [Publicación Docente]. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/103833>
- Ciecierska, M., Derewiaka, D., Kowalska, J., Majewska, E., Drużyńska, B., & Wołosiak, R. (2019). Effect of mild roasting on Arabica and Robusta coffee beans contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 737–745. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3532-0>
- Gerena Romero, M. A. (2017). Retos y oportunidades del gas licuado de petróleo (GLP) como fuente alternativa de energía del parque automotor en Colombia [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/16739>
- 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
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela-Martínez, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 380, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Organización Mundial de la Salud. (2009). Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo (CAC/RCP 68-2009; Codex Alimentarius). FAO. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/es/>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Peralta, A. (2011). Revisión del estudio de volátiles en café (*Coffea arabica*) por microextracción en fase sólida. *Alimentos Hoy*, 19(19), 39–46. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/download/55/53>
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Sanz-Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Peñuela-Martínez, A. E., & Ramos Giraldo, P. J. (2013). Proceso de beneficio. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 09–47). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_28
- Roa, G., Oliveros, C. E., Parra, A., & Ramírez, C. A. (2000). El secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 282, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0282>
- Roudbari, A., Rafiei Nazari, R., Shariatfar, N., Moazzen, M., Abdolshahi, A., Mirzamohammadi, S., Madani-Tonekaboni, M., Delvarianzadeh, M., & Arabameri, M. (2021). Concentration and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial tea and coffee samples marketed in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 4827–4839. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10794-0>
- Unión Europea. (2020). Reglamento (UE) 2020/1255 de la Comisión de 7 de septiembre de 2020 por el que se modifica el Reglamento (CE) n°1881/2006 en lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en la carne y los productos cárnicos ahumados del modo tradicional y en el pescado y los productos de la pesca ahumados del modo tradicional, y se establece un contenido máximo de HAP en los polvos de alimentos de origen vegetal utilizados para la preparación de bebidas. <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/1255/oj>
- Unión Europea. (2012). Reglamento (UE) n° 835/2011 de la Comisión, de 19 de agosto de 2011, que modifica el Reglamento (CE) n° 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los productos alimenticios. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/835/oj>

PREDICCIÓN DEL ORIGEN REGIONAL DEL CAFÉ DE COLOMBIA A PARTIR DE LA TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO - NIRS

Claudia Rocío Gómez Parra *, Aristóteles Ortiz **, Valentina Osorio Pérez ***

Gómez, C. R., Ortiz, A., & Osorio, V. (2022). Predicción del origen regional del café de Colombia a partir de la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano - NIRS. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73205. <https://doi.org/10.38141/10778/73205>



Colombia es el tercer país productor de café y la primera fuente de cafés suaves lavados en el mundo, manteniéndose como un actor clave del mercado internacional. Aunque el café de Colombia ha logrado su consolidación por los atributos de calidad del grano, es necesario desarrollar herramientas que soporten de manera objetiva la identidad de los diversos orígenes al interior del país, debido a que las condiciones ambientales cambian a lo largo de las zonas geográficas, generando diferentes características de taza como resultado de las particularidades de su producción. Esta investigación evaluó la técnica NIRS para la predicción del origen de muestras de café almendra verde de ocho departamentos productores de Colombia. Para desarrollar los modelos de calibración, el método estadístico discriminante utilizado fue RMS (Root Mean Square) X Residualidad, utilizando la corrección Scatter Variación Normal estándar (SVN) y Detrend con el tratamiento matemático 2,4,4,1 (derivada, gap y smooth), para disminuir el ruido espectral generado por las características de la muestra. Los resultados evidenciaron un acierto medio global de clasificación del 92%, destacándose los departamentos de Antioquia y Nariño, y la zona de Sierra Nevada, con un 98%, 99% y 97%, respectivamente. El modelo desarrollado por zonas de producción (Zona Norte, Centro y Sur) presentó un acierto medio global de 89%. Los resultados de la investigación confirman que la técnica NIRS permite predecir el origen regional del café colombiano.

Palabras clave: Espectro, origen, regional, predicción, calibración, Cenicafé, Colombia.

REGIONAL ORIGIN PREDICTION OF COLOMBIAN COFFEE FROM THE NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY TECHNIQUE - NIRS

Colombia is the third largest coffee-producing country and the first source of mild-washed coffees in the world, remaining a key player in the international market. Although Colombian coffee has achieved its consolidation due to the quality attributes of the bean, it is necessary to develop tools that objectively support the identity of the various origins within the country, because environmental conditions change throughout the geographic zones, generating different cup characteristics as a result of the particularities of its production. This research evaluated the NIRS technique for the prediction of the origin of green coffee samples from eight producing departments in Colombia. To develop the calibration models, the discriminant statistical method used was RMS (Root Mean Square) X Residuality, using the standard Normal Variation Scatter (SVN) and Detrend correction with the mathematical treatment 2,4,4,1 (derivative, gap, and smooth), to decrease the spectral noise generated by the sample characteristics. The results showed a global average classification accuracy of 92%, highlighting the departments of Antioquia and Nariño, and the Sierra Nevada area, with 98%, 99%, and 97%, respectively. The model developed by production areas (North, Central, and South Zone) presented a global mean accuracy of 89%. The research results confirm that the NIRS technique allows the prediction of the regional origin of Colombian coffee.

Keywords: Spectrum, origin, regional, prediction, calibration, Cenicafé, Colombia.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Calidad. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-0685-8337>

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

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



La técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés), ha logrado grandes avances, posicionándose como una técnica precisa, confiable y reproducible para análisis cualitativos y cuantitativos en diferentes sectores (García-Olmo, 2009; Osborne et al., 1993; Williams & Norris, 1987). Algunas de las ventajas que ofrece es que permite obtener resultados rápidos, es una técnica no destructiva, que no requiere una transformación del material de análisis y permite analizar un gran número de muestras en un período corto de tiempo, presentando una alta reproducibilidad respecto al método de referencia, facilita el análisis de diferentes parámetros y realiza clasificaciones respecto a características cualitativas (Arndt et al., 2020; Cozzolino, 2002; García-Olmo, 2009; Pérez-Marín et al., 2007).

Esta técnica NIRS se fundamenta en la emisión de un haz de luz sobre la muestra, la cual dependiendo de su composición absorbe una cantidad determinada de radiación; la absorción depende principalmente de los enlaces presentes en sus moléculas (-CH, -NH, -OH, -CO). Este fundamento es conocido como la ley de Beer-Lambert, el cual establece que el valor de absorbancia de una muestra que contenga una sustancia con capacidad de absorber radiación NIR es directamente proporcional a la concentración de la sustancia (Alomar & Fuchslocher, 1998; Bertrand & Dufour, 2006; García-Olmo, 2009; Shenk & Westerhaus, 1991; Williams & Norris, 1987). Los valores de absorbancia a las diferentes longitudes de onda permiten obtener una curva denominada espectro NIR, que es el resultado de diferentes sobre tonos, bandas de combinación y absorciones electromagnéticas (Bertrand & Dufour, 2006; García-Olmo, 2009; Pérez-Marín et al., 2007; Shenk & Westerhaus, 1991).

Para analizar la información espectral y extraer la mayor cantidad de información posible

y extender el conocimiento del sistema químico se requiere de la quimiometría, la cual es explicada como la aplicación de las matemáticas en la química analítica (Mongay Fernández, 2005; Jiménez Torres, 2007; Vásquez et al., 2004). Las herramientas quimiométricas utilizadas con mayor frecuencia son los métodos de análisis multivariable, que se emplean para estimar cualquier propiedad física o química de la muestra a partir de múltiples variables espectrales, como los valores de absorbancia a diferentes longitudes de onda (Martens & Næs, 1992; Otto, 2017). Con base en lo anterior, en la tecnología NIRS se denomina etapa de calibración al proceso que se realiza en el desarrollo de la relación matemática entre los valores de absorbancia y los valores de las propiedades (químicas o físicas), al modelo matemático que se genera se le denomina ecuación de calibración y al grupo de muestras colectivo de calibración (García-Olmo, 2009; Williams, P.C., Sobering, D.C., 1996).

Los análisis que se utilizan para obtener la información requerida son cualitativo y cuantitativo. El cuantitativo es el análisis más utilizado, para lo cual se relacionan los valores de absorbancia con la concentración del analito, determinado previamente por un método de referencia, obteniendo la ecuación de calibración, la cual permite estimar su concentración (García-Olmo, 2009; Pérez-Marín et al., 2007). Con relación al análisis cualitativo, se define como la comparación de espectros de muestras desconocidas con grupos de espectros de características conocidas (Mark, 2007). Este tipo de análisis busca generar modelos de clasificación para un grupo o clases de determinadas muestras (Bertrand & Dufour, 2006; Deming et al., 1988; García-Olmo, 2009). Para el desarrollo de los modelos, se relaciona la información de datos espectrales y la información de la variable, la cual puede ser origen, variedad o calidad, entre otros; estableciéndose entre ellos una

función que permita correlacionar los dos tipos de información. Los métodos de clasificación más utilizados y de mayor aplicación a datos espectrales NIR son el análisis de componentes principales, la regresión de mínimos cuadrados parciales, el análisis factorial discriminante y discriminante X Residual.

Con relación al análisis discriminante, diferentes estudios evidencian resultados que confirman que a partir del espectro NIR es posible realizar la clasificación de diferentes grupos, a partir de variables o características categóricas. En la clasificación de predicción del origen se evidencian trabajos como el del loto blanco chino, en el cual utilizaron muestras de cuatro zonas productoras, desarrollando un modelo de calibración discriminante, con aciertos entre el 90% y el 97% (Xu et al., 2015). Para la clasificación por origen de *Junglan regia* L. (nueces), Arndt et al. (2020) tomaron muestras de siete países productores, desarrollaron un modelo de análisis discriminante lineal – LDA, con una precisión de clasificación del 77,1%. Para la clasificación de especies de *Panax* se tomaron muestras de tres zonas productoras, desarrollaron un modelo discriminante de mínimos cuadrados – PL, con un acierto de clasificación del 100% (Chen et al., 2011). En la identificación de diferentes marcas de licores, con el mismo sabor y el mismo contenido de alcohol, se desarrolló un modelo discriminante de mínimos cuadrados parciales-PLS con el cual obtuvieron una clasificación del 98% (Yang et al., 2017).

En Honduras, Giraudo et al. (2019) desarrollaron para café verde dos modelos de clasificación discriminante a partir del análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS), los cuales clasificaban por continente y países, obteniendo un 98% y un 100% de clasificación, respectivamente. En Budapest, Alonso-Salces et al. (2009) desarrollaron el modelo de calibración a partir del PLS para

la clasificación de granos de café robusta de origen de Camerún, Vietnam e Indonesia, con un 94% de acierto. En Indonesia realizaron tres tipos de modelos de clasificación utilizando muestras de café robusta de tres regiones productoras, aplicaron el pretratamiento con variación normal estándar–SNV y *multiple scatter correction*- MSC, el cual presentó una clasificación del 93% de acierto para cada uno (Siregar et al., 2020). En Brasil, Bona et al. (2017) realizaron un modelo de clasificación geográfica de diferentes genotipos de café arábica aplicando *support vector machines* (SVN), con una clasificación de acierto de 100%. En Colombia se desarrollaron los primeros modelos para la predicción de origen de cinco localidades utilizando la distancia Mahalanobis, con una clasificación de 83% (Villegas et al., 2014).

Esta investigación desarrolló dos modelos de predicción, uno por el origen de diez departamentos cafeteros de Colombia y el otro por zonas de producción, determinando el porcentaje de acierto y verificando el uso de la técnica NIRS para la discriminación de los diferentes orígenes del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de café

Las muestras de café almendra verde utilizadas en la investigación provenían de los diez principales departamentos productores de café del país, en el caso de Sierra Nevada, esta zona se conformó por los departamentos de Cesar, La Guajira y Magdalena, configurando de esta manera ocho departamentos para el modelo (Tabla 1).

La selección de las muestras se realizó a partir de un muestreo aleatorio por conveniencia, con el objetivo de garantizar que se contara con muestras de café producidas en los límites

geográficos departamentales, al igual que al interior de cada departamento. Las muestras se tomaron directamente en las fincas cafeteras de cada uno de los departamentos, con el fin de asegurar la trazabilidad de las mismas. Estas muestras fueron procesadas de acuerdo a las condiciones establecidas por cada caficultor; una vez recibidas las muestras en el laboratorio se verificó el contenido de humedad, el cual debía estar en un rango del 10% al 12%; la humedad fue verificada con un medidor de humedad marca Kett PM420.

En total se analizaron 2.015 muestras, de las cuales se seleccionaron de forma aleatoria 1.762 para los modelos y se reservaron 253 para la validación cruzada, la distribución de las muestras se presenta en la Tabla 1, la cual contiene por cada uno de los departamentos el número total de muestras utilizadas para el modelo y la última columna las de validación.

Para realizar el análisis por la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS, las muestras de café pergamino seco (cps) fueron trilladas y se les realizó el análisis físico separando la almendra sana y la defectuosa. Posteriormente se pesaron 110 gramos de almendra sana para ser analizadas por NIRS.

Técnica Espectroscopia de Infrarrojo cercano – NIRS

Las muestras se analizaron en el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS, ubicado en el laboratorio de Cenicafé en Planalto (Manizales, Caldas). Se colocaron 110 g de cada una de las muestras de café almendra verde (entero) en una cubeta rectangular, se leyeron por duplicado, en un rango de longitud de onda de 400 nm – 2.490 nm, en un incremento de cada 0,5 nm para la captura del espectro; en total se realizaron

Tabla 1. Departamentos estudiados, número total de muestras analizadas y distribución de muestras para el modelo y para validación.

Departamento	Total de muestras	Muestras para desarrollo del modelo	Muestras para validación del modelo
Antioquia	148	110	38
Caldas	132	107	25
Cauca	261	226	35
Huila	265	235	30
Nariño	347	307	40
Santander	227	202	25
Sierra Nevada	454	414	40
Tolima	181	161	20
Total	2.015	1.762	253

4.030 lecturas. Posteriormente, con el software WinISI (versión 4 Foss Infracsoft International, USA) incorporado en el equipo, se analizó la información espectral y se desarrollaron los modelos de predicción discriminantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis espectral

A las muestras analizadas por la Técnica NIRS, se les realizó el análisis de absorbancia media por departamento, en la Figura 1 se observa que presentan la misma tendencia. Los departamentos de Caldas, Cauca y Nariño presentan menor valor de absorbancia respecto a Tolima, Santander y Sierra Nevada a partir de la longitud de onda de 1.400.

Para el desarrollo de los modelos de calibración, es necesario realizar el análisis de componentes principales (PCA), el cual reduce la dimensionalidad de las variables, permite la identificación de muestras atípicas (*outlier*) y las discrimina en el caso que las muestras presenten este comportamiento (Chifarelli et al.,

2017; Cozzolino, D., et al, 2006); los parámetros estadísticos del análisis PCA estuvieron dados principalmente por el valor global de $H > 3,0$, el tratamiento matemático 3,3,3,1 y se analizó la información de la longitud de onda de 400 – 1.098,2 y 1.100 – 2.498,2, en total se identificaron 41 muestras atípicas, las cuales fueron retiradas, es decir, no se utilizaron para el desarrollo del modelo de calibración, ni para la validación.

En la Figura 2 se presenta la gráfica generada a partir del análisis PCA, donde el color rojo representa el grupo 1, conformado por Sierra Nevada y Santander, en color fucsia el grupo 2 conformado por Cauca y Huila y color verde el grupo 3 conformado por Caldas. Se observa que tienden a agruparse por zonas los departamentos evaluados; estas agrupaciones coinciden con las zonas de producción relacionadas con las épocas de cosecha (principal) que se encuentran referenciadas en el Boletín Agrometeorológico Cafetero No. 43, del mes de marzo de 2019 (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2019).

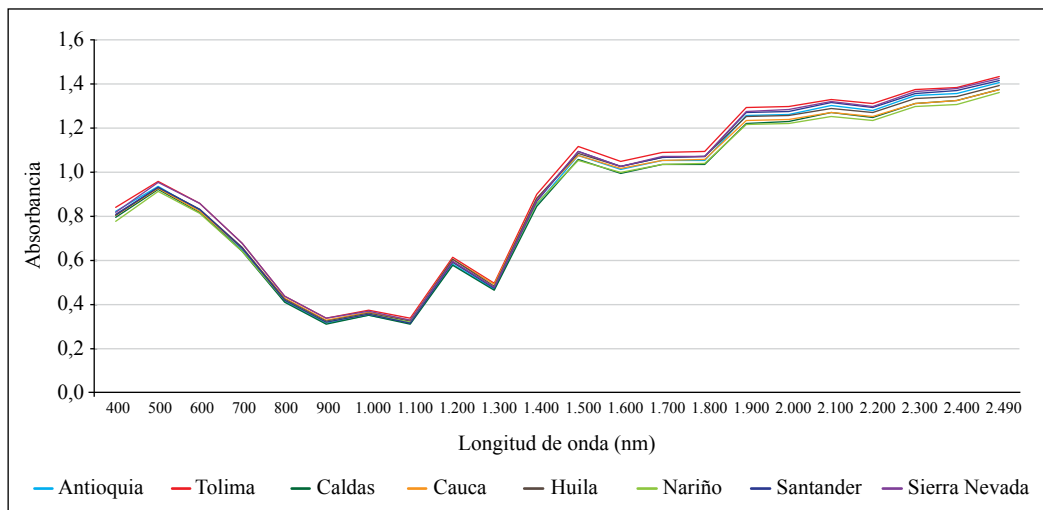


Figura 1. Absorbancia media del café verde, por departamento, respecto a la longitud de onda (400 a 2.490 nm).

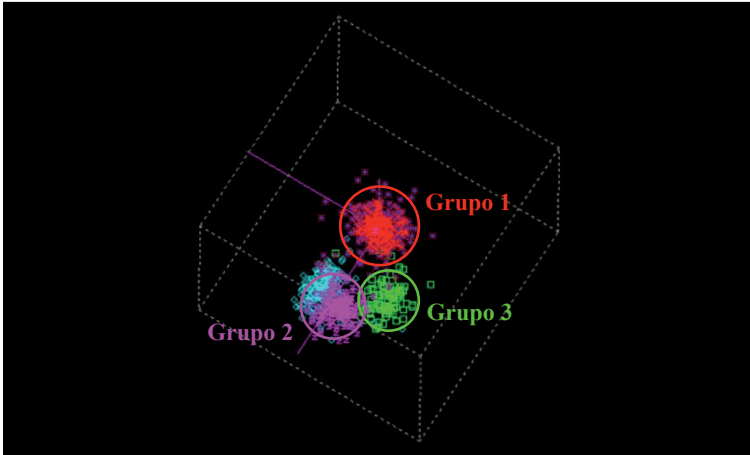


Figura 2. Gráfico de PCA para cuatro departamentos y la zona Sierra Nevada.

Con base en la tendencia de agrupación, se realizó el análisis por zonas, donde la zona Norte está conformada por Santander y Sierra Nevada (Figura 3); zona Centro (Figura 4) por Antioquia, Tolima y Caldas; y zona Sur (Figura 5) por Huila, Cauca y Nariño. En la Figura 6 se representan las tres zonas identificadas, con una clara separación entre estas ellas.

Desarrollo del modelo de predicción por departamento para café almendra

El modelo predictivo para este tipo de análisis son los denominados cualitativos, el cual se realiza a partir del análisis estadístico discriminante, y tiene como objetivo encontrar la combinación lineal de las variables independientes que permitan la máxima separación de las clases (Bolaños Alfaro, 2016; Prades et al., 2013; Ruiz-Aranibar, 2013). Teniendo en cuenta el análisis espectral presentado y evidenciando el comportamiento espectral de las muestras se desarrollaron los siguientes modelos de predicción:

1. Por departamentos. Se realizó un modelo para predecir individualmente los ocho departamentos evaluados para café almendra.

2. Por zonas. Se agruparon los departamentos en tres zonas (Norte, Centro y Sur) y el modelo debía predecir a qué zona pertenecía para café almendra.

Para los modelos de predicción desarrollados se realizaron diferentes pruebas con las herramientas estadísticas discriminantes ofrecidas por el Software WinISI, como mínimos cuadrados parciales (PLS), por correlación, máxima distancia, distancia mahalanobis, máxima residualidad y por RMS X residualidad, siendo este último el que presentó un mejor resultado, es decir, mayor porcentaje de acierto, lo que lo convierte en el criterio principal para la selección de los parámetros estadísticos; en la Tabla 2 se presenta el porcentaje de acierto de clasificación por cada una de los métodos estudiados.

Para dar claridad a la interpretación de los resultados, cuando se desarrolla el modelo de calibración y la posterior validación, el software genera la matriz de confusión, una herramienta estadística que permite hacer el análisis de observaciones emparejadas (Ariza-López et al., 2018; Sánchez-Muñoz, 2016), como se observa en la Tabla 3

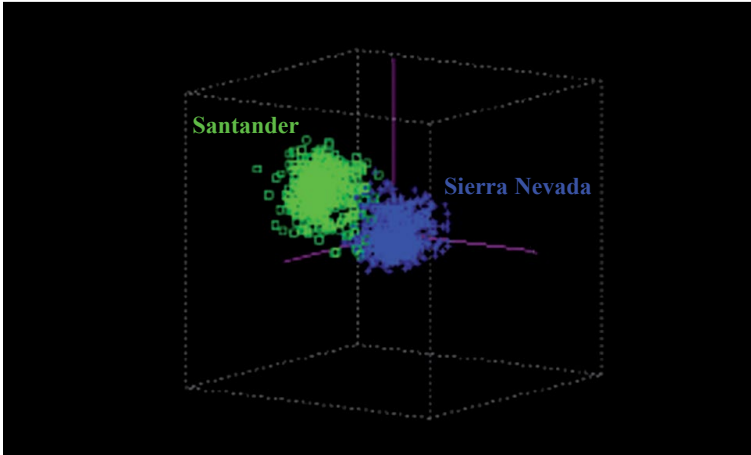


Figura 3. Gráfico de PCA Zona Norte Santander y Sierra Nevada.

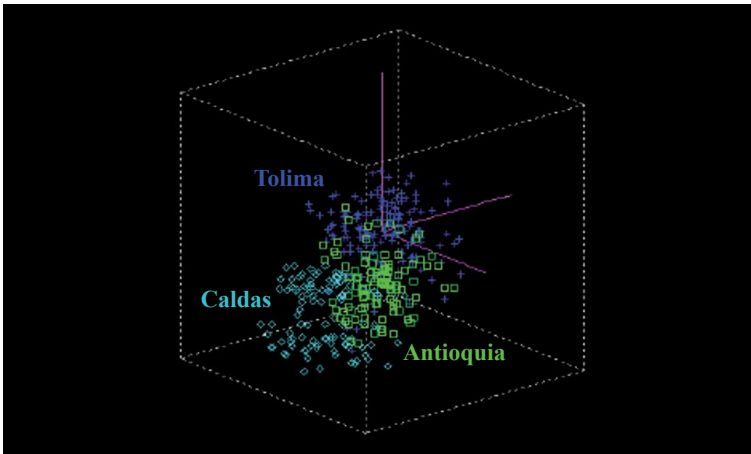


Figura 4. Gráfico de PCA Zona Centro, Tolima, Antioquia y Caldas.

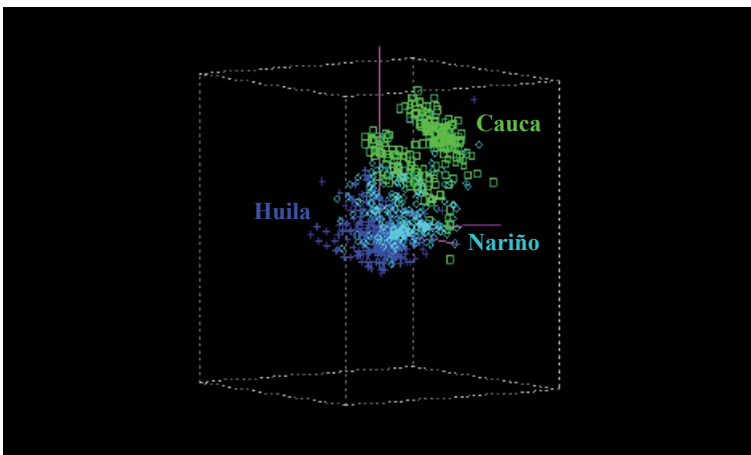


Figura 5. Gráfico de PCA Zona Sur, Huila, Cauca y Nariño.

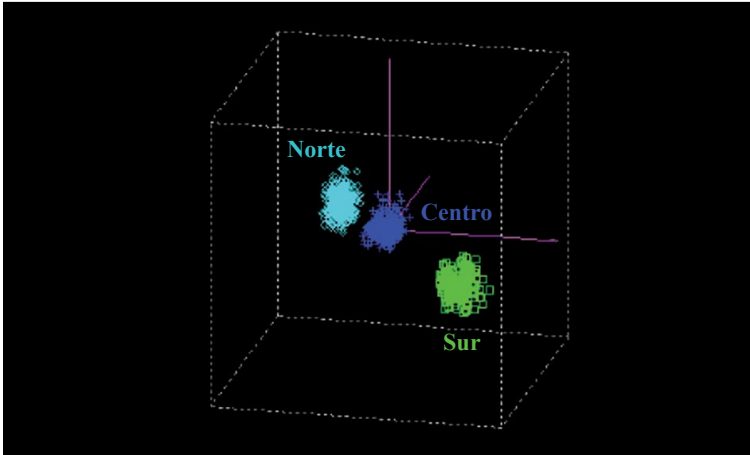


Figura 6. Gráfico de PCA Zona Sur, Centro y Norte.

Tabla 2. Porcentaje de acierto por cada uno de los métodos estadísticos discriminantes por departamento o zona, para predecir el origen del café almendra.

Departamento	PLS	Correlación	Máxima Distancia	Distancia Mahalanobis	Máximo X Residual	RMS X Residual
Antioquia	0,0	50,0	36,4	20,0	52,7	98,0
Caldas	0,0	13,1	37,4	51,4	56,1	83,0
Cauca	17,1	45,4	59,0	31,2	50,5	93,0
Huila	0,0	8,5	21,3	6,8	31,5	88,0
Nariño	2,9	62,5	16,0	42,7	51,1	99,0
Santander	0,0	17,8	6,4	3,0	42,1	87,0
Sierra Nevada	30,0	53,9	41,5	45,9	56,5	97,0
Tolima	0,0	38,5	56,5	45,3	39,8	91,0

los verdaderos positivos (color verde) corresponden a las muestras que clasifican correctamente, es decir, al departamento del cual tienen su origen, y los falsos positivos (color rojo) corresponden a las muestras que clasificaron de forma incorrecta, permitiendo establecer el porcentaje global de acierto

a través de indicadores de sensibilidad por departamento. Este mismo procedimiento se realizó para la validación del modelo con el set de muestras reservadas para ese objetivo, generando la matriz de confusión de confirmación de desempeño del modelo desarrollado (Tabla 4).

Modelo de clasificación por departamento

El modelo que presentó el mejor resultado fue el desarrollado a partir de método discriminante RMS X Residual; se ingresaron ocho grupos de variables, cada una correspondiente a un departamento o zona (Antioquia, Caldas, Cauca, Huila Nariño, Santander, Sierra Nevada y Tolima), la variación explicada del modelo fue de 0,99, tolerancia de 100, la corrección de la dispersión se realizó con *standard normal variate*-SNV y Drend -DT, donde el SNV redujo el efecto del tamaño de la partícula y DT corrigió la curvatura lineal, el tratamiento matemático fue 2,4,4,1 (derivada, segmento de onda, suavizado 1, suavizado 2). En la matriz de confusión (Tabla 3) de café almendra verde, el modelo de calibración discriminante presentó:

- Un porcentaje de acierto global de 92% y un error global de 8%.
- Los departamentos de Nariño y Antioquia, y la zona Sierra Nevada presentaron los mayores porcentajes de acierto, 99%, 98% y 97%, con respecto a los demás departamentos.
- Los departamentos que presentaron un mayor número de falsos positivos fueron Caldas, Santander y Huila, con 17%, 13% y 12%, respectivamente.
- El mayor número de falsos positivos de los departamentos de Cauca, Huila y Nariño, están ubicados en estos mismos departamentos. En el caso de los departamentos de Cauca y Huila el 86% y el 57% de estos falsos positivos se encuentran ubicados en Nariño, lo que mostraría consistencia con lo observado en el PCA;

es decir, que la huella espectral presenta un comportamiento muy similar para estos tres departamentos.

Matriz de validación cruzada por departamento

La validación cruzada se realizó con el grupo de muestras (253) reservadas para la validación del modelo. En la Tabla 4 se presenta la matriz de confusión obtenida después de aplicar el modelo desarrollado por departamentos donde Caldas y Tolima reducen su porcentaje de acierto en un 3% y un 11%, respectivamente, aunque puede observarse la misma tendencia de clasificación del modelo.

Desarrollo del modelo de predicción por zonas

Las zonas fueron conformadas por los departamentos seleccionados de acuerdo a los resultados obtenidos en los grupos (Figura 6).

- Zonas Norte: Santander y Sierra Nevada (Cesar, La Guajira y Magdalena).
- Zona Centro: Antioquia, Caldas y Tolima.
- Zona Sur: Huila, Cauca y Nariño.

Los parámetros matemáticos que presentaron un mejor resultado de clasificación del modelo discriminante desarrollado se describen en la Tabla 5.

Al realizar el modelo por zonas puede evidenciarse en la matriz de confusión en la Tabla 6, que el modelo presentó una clasificación media global de 89,2% y un error medio global de 10,8%, la zona Sur presentó una mejor clasificación respecto a las otras zonas evaluadas.

Tabla 3. Matriz de confusión por departamento y zona del modelo predictivo.

Depto.	Antioquia	Caldas	Cauca	Huila	Nariño	Santander	Sierra Nevada	Tolima	Acierto	Error	Total n	Acierto (%)
Antioquia	108	0	0	0	1	0	0	1	108	2	110	98
Caldas	2	89	0	0	10	6	0	0	89	18	107	83
Cauca	0	0	211	1	13	1	0	0	211	15	226	93
Huila	0	0	10	207	16	1	0	1	207	28	235	88
Nariño	0	0	1	0	304	1	0	1	304	3	307	99
Santander	1	0	8	1	16	176	0	0	176	26	202	87
Sierra Nevada	2	0	1	1	2	4	403	1	403	11	414	97
Tolima	2	0	1	4	8	0	0	146	146	15	161	91

Verdaderos positivos (color verde); falsos positivos (color rojo)

Tabla 4. Matriz de la validación cruzada del modelo desarrollado por departamento y zona.

Depto.	Antioquia	Caldas	Cauca	Huila	Nariño	Santander	Sierra Nevada	Tolima	Total n	Acierto (%)
Antioquia	38	0	0	0	0	0	0	0	38	100
Caldas	1	20	0	0	3	1	0	0	25	80
Cauca	0	0	34	0	1	0	0	0	35	97
Huila	0	0	0	26	4	0	0	0	30	87
Nariño	0	0	0	0	40	0	0	0	40	100
Santander	0	0	1	1	1	22	0	0	25	88
Sierra Nevada	0	0	1	0	0	0	39	0	40	98
Tolima	1	0	1	1	1	0	0	16	20	80

Tabla 5. Características matemáticas del modelo predictivo por zonas.

Descripción	Zona Sur	Zona Centro	Zona Norte
Método discriminante	RMSXResiduals	RMSXResiduals	RMSXResiduals
Número de factores	3	3	2
Variación explicada del modelo	0,99	0,99	0,99
Tolerancia	100	100	100
Corrección Scatter	SNV_DETREND	SNV_DETREND	SNV_DETREND
Tratamiento matemático	2,4,4,1	2,4,4,1	2,4,4,1
Longitud de onda	408,1092,8	408,1092,8	408,1092,8
	1108,2492,8	1108,2492,8	1108,2492,8

Tabla 6. Matriz de clasificación del modelo desarrollado para las zonas Centro, Norte y Sur.

Zona	Centro	Norte	Sur	Acierto	Error	Total	Acierto (%)
Centro	373	30	49	373	79	452	82,5
Norte	9	478	46	478	55	533	89,7
Sur	15	21	732	372	36	768	95,3

Verdaderos positivos (color verde); falsos positivos (color rojo)

Matriz de validación cruzada por zonas

Al realizar la validación cruzada, la zona Centro presentó un menor porcentaje de acierto (65,1%) respecto a las otras zonas evaluadas, 81,5% para la zona Norte y 96,2% para la

zona Sur, las muestras que no clasificaron correctamente fueron principalmente las de origen Tolima (Tabla 7).

Los resultados obtenidos para los dos modelos de predicción del origen regional

Tabla 7. Matriz de validación cruzada del modelo desarrollado por zonas.

Zona	Centro	Norte	Sur	Total	Acierto (%)
Centro	54	12	17	83	65,1
Norte	1	53	11	65	81,5
Sur	1	3	101	105	96,2

y por zonas para café almendra, confirman la efectividad de la técnica NIRS para realizar la clasificación regional de los diez departamentos objeto de esta investigación. Trabajos referenciados por otros autores obtuvieron resultados similares como los realizados por Siregar et al. (2020), quienes obtuvieron un 93% de acierto en los modelos desarrollados para la clasificación de café robusta de tres regiones productoras de Indonesia; Giraudo et al. (2019) obtuvieron un 98% y 100% de acierto para los modelos de clasificación por países y continentes de café verde; Bona et al. (2017) realizaron un modelo para la clasificación geográfica en Brasil para el café arábica con un 80% de acierto, y en Budapest, Alonso – Salces et al. (2009) desarrollaron un modelo de clasificación de café robusta proveniente de Camerún, Vietnam e Indonesia, con un 98% de acierto.

Puede concluirse que los resultados confirman que la técnica de espectroscopia

de infrarrojo cercano NIRS es una técnica confiable y reproducible que permite la clasificación regional del café producido en los departamentos de estudio. El modelo predictivo de origen para ocho departamentos, presentó una clasificación media global de 92% y un error medio global de 8%. En la identificación del comportamiento espectral de las muestras evaluadas se evidenció una clara separación zonal del café de Colombia, razón por la que se desarrollaron los modelos por zonas Norte, Centro y Sur, donde el modelo presentó una clasificación media global de 89,2% y un error medio global de 10,8%.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Álvaro Gaitán Director de Cenicafé, a los Comités Departamentales Cafeteros, Líderes de Extensión, Servicio de Extensión, Almacafé, Cafecert y al personal del apoyo Anderson Arias y Víctor Castañeda. Fuente de financiación: recursos propios, CAL104012.

LITERATURA CITADA




Alomar, D., & Fuchslocher, R. (1998). Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes. *Agro sur*, 26(1), 88–104. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1998.v26n1-11>

Alonso-Salces, R. M., Serra, F., Reniero, F., & Héberger, Ká. (2009). Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*): Chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. *Journal of Agricultural*

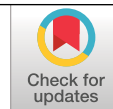
- and Food Chemistry, 57(10), 4224–4235. <https://doi.org/10.1021/jf8037117>
- Ariza-López, F. J., Rodríguez-Avi, J., & Alba-Fernández, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 21, 215–226. <https://doi.org/10.21138/GF.591>
- Arndt, M., Drees, A., Ahlers, C., & Fischer, M. (2020). Determination of the geographical origin of walnuts (*Juglans regia* L.) using near-infrared spectroscopy and chemometrics. *Foods*, 9(12), 1860. <https://doi.org/10.3390/foods9121860>
- Bertrand, D., & Dufour, E. (Eds.). (2005). *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques* (2a ed.). Tec et Doc–Lavoisier.
- Bolaños Alfaro, J. D. (2016). El método NIR combinado con el análisis quimiométrico PLS-da para determinar la adulteración del aceite de oliva con aceite de girasol. *Pensamiento Actual*, 16(26), 163. <https://doi.org/10.15517/pa.v16i26.25764>
- Bona, E., Marquetti, I., Link, J. V., Makimori, G. Y. F., da Costa Arca, V., Guimarães Lemes, A. L., Ferreira, J. M. G., dos Santos Scholz, M. B., Valderrama, P., & Poppi, R. J. (2017). Support vector machines in tandem with infrared spectroscopy for geographical classification of green arabica coffee. *LWT–Food Science and Technology*, 76, 330–336. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.048>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2019). *Boletín agrometeorológico cafetero* (Núm. 43). <https://agroclima.cenicafe.org/web/guest/boletin-agrometeorologico>
- Chen, X., Wu, D., He, Y., & Liu, S. (2011). Nondestructive differentiation of panax species using visible and shortwave near-infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5), 753–761. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0199-6>
- Chifarelli, V., Giménez, A. M., Nisgoski, S., & Moglia, J. G. (2017). Aplicación de la técnica NIRS (Espectroscopía de infrarrojo cercano) en la discriminación de la madera de Bulnesia sarmientoi. En A. M. Gimenez & J. G. Moglia (Eds.), *Los bosques actuales del chaco semiárido argentino ecoanatomía y biodiversidad: Una mirada propositiva*. (pp. 267–279). Universidad Nacional de Santiago del Estero. https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/libro-ecoanatomia/libro_Los-bosques-actuales-del-Chaco-semiarido-argentino-Ecoanatomia-y-biodiversidad-una-mirada-propositiva.pdf
- Cozzolino, D. (2002). Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia*, 6(2), 25–32. <http://www.fagro.edu.uy/~agrociencia/VOL6/2/p25-32.pdf>
- Cozzolino, D., Fernández, E. G., Restaino, E. A., & La Manna, A. (2006). Determinación de la composición química de heno mediante la espectrofotometría en el infrarrojo cercano (NIRS). *Revista Argentina de producción animal*, 26(1), 203–209. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12191/1/4261-22466-1-PB.pdf>
- Deming, S. N., Michotte, Y., Massart, D. L., Kaufman, L., & Vandeginste, B. G. M. (1988). *Chemometrics: A textbook*. Elsevier Science.
- García-Olmo, J. (2009). *Clasificación y autenticación de canales de cerdo ibérico mediante espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de Doctorado, Universidad de Córdoba]. <http://hdl.handle.net/10396/2340>
- Giraud, A., Grassi, S., Savorani, F., Gavoci, G., Casiraghi, E., & Geobaldo, F. (2019). Determination of the geographical origin of green coffee beans using NIR spectroscopy and multivariate data analysis. *Food Control*, 99, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.033>
- Mark, H. (2007). Data analysis: multilinear regression and principal component analysis. En D. A. Burns & E. W. Ciurczak (Eds.), *Handbook of Near-Infrared Analysis* (3a ed., pp. 151–188). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420007374>
- Martens, H., & Næs, T. (1992). *Multivariate Calibration*. John Wiley & Sons.
- Mongay Fernández, C. (2005). *Quimiometría*. Universitat de València.
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. H. (1993). *Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverage analysis* (2nd ed). Longman Scientific & Technical; Wiley.
- Otto, M. (2017). *Chemometrics: Statistics and computer application in 4 analytical chemistry* (3a ed.). Wiley-VCH Verlag.
- Pérez-Marín, D., Garrido-Varo, A., & Guerrero, J. E. (2007). Non-linear regression methods in NIRS quantitative analysis. *Talanta*, 72(1), 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.10.036>
- Prades, C., García-Olmo, J., Romero Prieto, T., García de Ceca, J. L., & López-Luque, R. (2013). Aplicación de

- la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) a la clasificación por calidad del corcho en plancha. *VI Congreso Forestal Español*, 2–13. http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/14270
- Ruiz-Aranibar, G. (2013). Análisis discriminante. *Revista Varianza*, 10(2), 1–10. <http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rv/n10/n10a02.pdf>
- Sánchez-Muñoz, J. M. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento matemático*, 6(2), 9–26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5998855>
- Shenk, J. S., & Westerhaus, M. O. (1991). Populations Structuring of Near Infrared Spectra and Modified Partial Least Squares Regression. *Crop Science*, 31(6), 1548-1555. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100060034x>
- Siregar, S. D., Rindang, A., & Ayu, P. C. (2020). Principle Component Analysis (PCA)—Classification of Arabica green bean coffee of North Sumatera Using FT–NIRS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 454(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012046>
- Jiménez Torres, P.A. (2007). *Identificación de harinas de yuca (Manihot esculenta Crantz) con alto contenido proteico mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2473>
- Vásquez, D. R., Abadía, B., & Arreaza, L. C. (2004). Aplicación de la Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 49–55. https://doi.org/10.21930/rcta.vol5_num1_art:24
- Villegas, A. M., Pérez-Henao, C., Arana, V. A., Sandoval, T., Posada-Suárez, H. E., Garrido, A., Guerrero, J., Pérez-Marín, D., & García-Olmo, J. (2014). Identificación de origen y calibración para tres compuestos químicos en café, por espectroscopia de infrarrojo cercano. *Revista Cenicafé*, 65(1), 7–16. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/551>
- Williams, P., & Norris, K. H. (1987). *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists. <https://doi.org/10.1002/food.19880320825>
- Williams, P. C., & Sobering, D. C. (1996). How Do We Do It: A Brief Summary of the Methods We Use in Developing near Infrared Calibration. In A. M. C. Davis & P. Williams (Eds.), *Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves* (pp. 185–188). NIR Publications.
- Xu, L., Cai, C.-B., She, Y.-B., & Chen, L.-J. (2015). Discriminating the Geographical Origins of Chinese White Lotus Seeds by Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *Journal of Spectroscopy*, 2015, e831246. <https://doi.org/10.1155/2015/831246>
- Yang, B., Yao, L., & Pan, T. (2017). Near-Infrared Spectroscopy Combined with Partial Least Squares Discriminant Analysis Applied to Identification of Liquor Brands. *Engineering*, 9(2), 181–189. <https://doi.org/10.4236/eng.2017.92009>

SECADO SOLAR DE CAFÉ USANDO DIFERENTES TIPOS DE CUBIERTAS PLÁSTICAS

Aída Esther Peñuela-Martínez *, María Valentina Restrepo Rivera **,
Carlos Alfonso Tibaduiza Vianchá ***

Peñuela-Martínez, A. E., Restrepo-Rivera, M. V., & Tibaduiza, C. A. (2022). Secado solar de café usando diferentes tipos de cubiertas plásticas. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73206. <https://doi.org/10.38141/10778/73206>



Recientemente se ha incrementado el uso de cubiertas plásticas de color azul para realizar el secado solar del café, argumentando que sus propiedades ópticas tienen beneficios sobre la calidad en taza; sin embargo, su efecto sobre la misma es desconocido. Esta investigación determinó el efecto de cinco tipos de cubiertas plásticas diferentes, sobre la calidad sensorial y tiempos de secado realizando procesos de secado solar de manera simultánea mediante un diseño experimental de bloques completos al azar, utilizando café procedente de la Estación Experimental Naranjal. Se determinaron las curvas de secado en cada condición, así como el comportamiento de la temperatura. Al café obtenido se le realizó el análisis sensorial mediante el protocolo SCA. Se registró información acerca de las variables relacionadas con las condiciones ambientales durante cada proceso (factor de bloqueo). La calidad en taza obtuvo un promedio de 81,4 puntos SCA, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas por efecto del uso de las diferentes cubiertas plásticas. Se presentaron diferencias en el tiempo de secado, siendo de hasta 40 horas menor para el testigo respecto a las cubiertas azul y naranja.

Palabras clave: Calidad sensorial, tiempo de secado, temperatura de secado, cubiertas plásticas, Cenicafé, Colombia.

SOLAR COFFEE DRYING USING DIFFERENT TYPES OF PLASTIC COVERS

Recently, the use of blue plastic covers to perform solar drying of coffee has increased due to their optical properties that may benefit cup quality. However, such effects are still unknown. This research determined the effect of five different types of plastic covers on sensory quality and drying times by performing solar drying processes simultaneously through an experimental randomized complete block design, using coffee from Naranjal Experiment Station. The drying curves in each condition as well as the behavior of the temperature were determined. A sensory analysis was made to the coffee obtained using the SCA protocol. The information about variables related to environmental conditions during each process (Blocking Factor) was recorded. The cup quality obtained had an average of 81.4 SCA points, the analysis of variance showed no significant differences related to the effect of the use of the different plastic covers. The drying time of the control was up to 40 hours shorter than that of the blue and orange covers.

Keywords: Sensory quality, drying time, drying temperature, plastic covers, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-4454-9778>

** Practicante hasta abril de 2021. Disciplina de Poscosecha, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-6845-4215>

*** Asistente de Investigación. Disciplina de Poscosecha, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-7053-0942>



En el secado solar del café el aprovechamiento de la radiación y la energía del aire se ha utilizado como una alternativa de bajo costo para obtener el café pergamino seco (cps), especialmente cuando la producción máxima es de 3.500 kg año⁻¹ de cps (Parra et al., 2017), y en las fincas de mayores producciones en épocas de bajo flujo de café. Los desarrollos tecnológicos en esta área se han enfocado en ofrecer opciones que permitan tener mayor eficiencia térmica del proceso, reflejado en menores tiempos de secado, de acuerdo con las horas de brillo solar (Oliveros et al., 2013), bajo el enfoque de la resistencia mecánica del material y la pérdida de propiedades ópticas (Oliveros et al., 2006; Oliveros et al., 2017), con el fin de garantizar una mayor durabilidad y, por lo tanto, menores costos de mantenimiento.

Este tipo de secado es un proceso complejo, en el que la humedad del grano disminuye durante el día y aumenta durante la noche, dada la gran cantidad de variables que intervienen en él, tales como la radiación solar, la temperatura, la velocidad y la humedad del aire, las cuales pueden variar durante el día y entre días (Roa et al., 1999). Lo anterior conlleva a tener tiempos de secado que pueden variar desde cinco hasta 20 días, dependiendo de las condiciones ambientales del lugar, al momento de realizar la operación (Roa, Oliveros y Ramírez 2000). Este proceso se lleva a cabo mediante el intercambio de energía térmica y humedad en la superficie de los granos, por lo que los primeros en disminuir su humedad, dada la evaporación, son los que se encuentran en la parte superior de la capa, provocando un calentamiento mayor al de los granos de la capa inferior, que se mantienen además en el mismo estado de humedad. Con el fin de tener un adecuado aprovechamiento de la radiación solar y la energía del aire, en Cenicafé se han desarrollado tecnologías que permiten obtener café de buena

calidad física y sensorial, dentro de éstas se encuentran el secador parabólico y el secador tipo túnel, que son estructuras con cubiertas plásticas que permiten la mejor utilización de la radiación difusa en días poco soleados o lluviosos, o de la radiación directa durante las horas de mayor brillo solar (Roa et al., 2000). Las cubiertas plásticas utilizadas para los secadores solares han sido diseñadas para el uso agrícola, especialmente para invernaderos, en los cuales se han tenido en cuenta las propiedades mecánicas, ópticas y térmicas, y su relación con las variables ambientales a las que quedan expuestas.

Los plásticos utilizados en las cubiertas de los secadores tienen diferentes propiedades ópticas, mecánicas y térmicas, que pueden variar dependiendo del fin deseado. La transmisión de luz en el rango visible del espectro (400 a 700 nm), es una de las más importantes propiedades ópticas, dado que la intensidad de la radiación solar bajo una cubierta plástica siempre es menor que la que hay en el exterior, debido a la reflexión. Esta propiedad se mide a través de la transmisión global de la luz visible (TGLV), especialmente importante para cultivos en producción. Para el secado de café también es de interés el porcentaje de transmisión de luz difusa, que es la que se desvía más de 2,5° respecto a la dirección del haz de luz incidente. Una película plástica con mayor porcentaje de difusión es especialmente útil en lugares en los que hay poca nubosidad, alta radiación y escasez de lluvia, mientras que en climas con mayor humedad se prefieren películas con menor porcentaje de transmisión de luz difusa, es decir, que sean lo más claras posibles, ya que la radiación global ya es difusa por la nubosidad del sitio (Espí, 2012).

El polietileno de baja densidad y el EVA (co-polímero de etileno y acetato de vinilo) componentes de los plásticos, permiten tener

propiedades mecánicas como la resistencia a tensiones e impactos físicos y ambientales a los que se ve expuesta la película durante y después de su instalación. Estas propiedades están relacionadas con la resistencia al impacto y al rasgado, así como el porcentaje de elongación y la tensión en el punto de rotura (PQA, 2001). En la evaluación de estas propiedades, en dos tipos de cubiertas plásticas comercialmente usadas, se obtuvo una disminución en la resistencia al rasgado hasta del 82% y un incremento entre 22% y 29% de la resistencia a la tensión en punto de rotura, que condujeron a una disminución en la durabilidad del material (Oliveros et al., 2013). Respecto a las propiedades térmicas, especialmente la termicidad, estas hacen referencia a la capacidad de retener temperatura durante la noche, para evitar enfriamientos excesivos o para controlar la temperatura diurna excesiva bajo el invernadero en las zonas tropicales o desérticas (Espí, 2012).

Con el incremento en la demanda de cafés con perfiles especiales en taza, el secado solar ha tomado importancia dada la creencia en que este tipo de proceso permite obtener café de mejor calidad, soportada en menores temperaturas y mayores tiempos de secado. Lo anterior, ha llevado a realizar variaciones, tales como el uso de cubiertas plásticas de color azul, sin que se conozca el fundamento técnico de su implementación. Tampoco se han considerado las propiedades ópticas de este tipo de plástico, ni los factores ambientales que inciden en el secado como el brillo, la radiación solar y la temperatura del aire, que en algunos lugares o épocas del año no son apropiados para realizar este tipo de proceso.

El secado es una de las etapas del proceso poscosecha de mayor cuidado dentro del manejo del café, dada su relación con la causa de defectos de la calidad física, con consecuencias en la calidad en taza. Ante este panorama

se hizo necesario conocer el efecto del uso de este tipo de cubiertas plásticas sobre la calidad del café, además de su incidencia en el desarrollo del proceso, con el fin de suministrar la información técnica relacionada con su uso, bajo la hipótesis planteada de que el tipo de plástico usado para el secado solar de café no modifica los atributos en taza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Esta investigación se realizó en el área de secado solar de la disciplina de Poscosecha de Cenicafé, ubicado en Manizales (Caldas), a una altitud de 1.310 m, con una temperatura media anual de 21,2°C y humedad relativa del 78%. Se utilizó café de las variedades Cenicafé 1 y Castillo® General, procedentes de la Estación Experimental Naranjal.

Diseño experimental

Para el desarrollo de esta investigación se aplicó un diseño experimental de Bloques al Azar (DBA) con cinco tratamientos, que corresponden a procesos de secado solar utilizando cinco tipos de cubiertas plásticas. Para esto se utilizaron secadores tipo túnel contruidos a escala, con un área de 2 m² y capacidad para secar 28 kg de café lavado (14 kg cps), que constituyeron la unidad de trabajo. El diseño de los secadores consideró la extracción de aire exhausto, a través de una sección circular de seis pulgadas, ubicada en la parte superior. También, se consideró que la cubierta plástica estuviera separada del suelo no más de 5 cm, con el fin de tener el secado por efecto de la cubierta específicamente. Para el piso del secador se utilizó malla plástica red 5000 para permitir mayor circulación de aire. Con este tipo secadores se obtiene una reducción en el tiempo de secado hasta del 50% respecto a otras tecnologías como las

bandejas móviles o secadores parabólicos con piso de concreto (Oliveros et al., 2013).

Cada secador se cubrió con un tipo de cubierta plástica con características diferentes, respecto al color, porcentaje de bloqueo de rayos UV y porcentaje de termicidad, que fueron tomados como tratamientos.

Criterios para la selección de las cubiertas plásticas

Para la selección de las cubiertas plásticas se realizó un análisis de espectrometría de luz de diferentes colores, usando como base el plástico estándar con 2% de bloqueo UV, 55% de termicidad y transmisión de luz UV 340 nm en calibre 6. Para cada color se utilizó una capa de papel celofán en azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Se seleccionaron los colores que presentaron diferencias contrastantes en la longitud de onda para la transmisión de luz en el espectro visible. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de calidad de la empresa Plásticos y Químicos Andinos, PQA.

En los procesos de secado, se utilizó como testigo el plástico tradicionalmente usado y recomendado por sus características técnicas y de durabilidad para los secadores solares de café, conocido como AgroplasN.

Una vez seleccionadas las cubiertas plásticas y con los secadores construidos, se realizaron diez bloques, considerando como factor de bloqueo las condiciones ambientales al momento en que se realizaron los procesos. Para cada bloque se obtuvo la información de brillo solar, temperatura y humedad relativa del aire en el transcurso de cada uno de ellos. También se realizó el seguimiento de la temperatura dentro del secador, ubicando sensores UT330-USB, localizados a 15 cm de la masa de café en el centro de los secadores (Figura 2b). El número de bloques se estimó a partir de una varianza de

9,3 asociada a la variable calificación promedio SCA, para seis tratamientos y una diferencia mínima aceptable de tres. Para una potencia mayor del 80%.

Procesamiento de café

Los frutos de café variedad Cenicafé 1 utilizados para el procesamiento tuvieron como criterio tener más del 80% de frutos maduros en la masa cosechada y menos de 2,5% de frutos verdes. Para la obtención del café lavado se siguieron las recomendaciones del proceso 7P® (siete prácticas clave para el beneficio de café de calidad), despulpando aproximadamente 200 kg de frutos de café previamente clasificados por densidad por medio del separador hidráulico de tolva y tornillo sinfin. El café despulpado se clasificó por tamaño en una zaranda circular de lámina troquelada, para llevar a fermentación natural en tanque de acero inoxidable, una vez finalizado el proceso, de acuerdo con el método Fermaestro®, se lavó en un módulo Ecomill® LH-300 (Peñuela y Sanz, 2021). El café lavado fue asignado aleatoriamente a los tratamientos de secado solar en cada uno de los secadores dispuestos para este fin.

El manejo de café en los secadores del experimento, siguió las recomendaciones para el manejo de café en secado solar (Oliveros et al., 2017; Oliveros et al., 2013; Oliveros et al., 2006; Roa, Oliveros y Ramírez, 2000), el secador se mantuvo abierto durante el primer día de secado, con el fin de eliminar el exceso de humedad generado por la evaporación en la primera etapa de secado. Después de esto, los secadores solamente se abrieron para revolver el café y para registrar la pérdida de masa según método Gravimet (Oliveros et al., 2009).

Cada ensayo se finalizó cuando todos los tratamientos alcanzaron una humedad de $11,0 \pm 0,5\%$ b.h., para lo cual se realizó el seguimiento de la misma mediante el método

Gravimet. Se registró el tiempo de secado, al momento de obtener la humedad deseada en cada tratamiento.

El café pergamino seco obtenido de cada tratamiento se llevó a análisis de calidad sensorial, por al menos tres catadores Q-Grader del panel de catación de Cenicafé, quienes evaluaron las muestras, según el protocolo SCA, en el que se asigna un puntaje a cada uno de los diez atributos del café, de cuya sumatoria se obtiene el puntaje total.

La información de las variables climáticas registradas durante el desarrollo de las pruebas, temperatura (°C), humedad relativa (%) y brillo solar (h), fue tomada de la estación agroclimática localizada en el sector de La Granja Cenicafé.

Al finalizar el proceso experimental se tomaron muestras de las cubiertas plásticas, originales y después del uso (18 meses), para determinar si las propiedades ópticas y mecánicas se conservaron, tales como la transmisión y difusión de luz total (400 – 700 nm), termicidad (%), resistencia a la rotura por impacto (gf), resistencia a la propagación del rasgado (gf), esfuerzo a la rotura (Mpa) y porcentaje de elongación (%). Se tomó una muestra de 5 cm x 5 cm, de cada una de las cubiertas localizadas en la parte de mayor exposición a la radiación solar; muestras del mismo tamaño de los plásticos originales sin utilizar, fueron tomadas para los valores de referencia. Para las propiedades mecánicas se utilizó la máquina universal de ensayos-Instron 5569 y para las ópticas se utilizó un espectrofotómetro de luz visible.

Variables determinadas

La variable de respuesta fue el puntaje total de acuerdo con el protocolo SCA y los puntajes individuales de los atributos del café obtenido.

La evaluación de calidad fue realizada por un panel de catación conformado por al menos tres catadores acreditados con certificado Q-Grader, que garantizan la calidad de la variable. Para el análisis se tuvo como criterio obtener taza limpia en el testigo, para comparar con los tratamientos.

Las variables complementarias fueron:

- Tiempo de secado (h)
- Temperatura del aire dentro del secador (°C)
- Temperatura del ambiente (°C)
- Brillo solar (h)

Análisis de la información

Se obtuvo el promedio y la variación para cada tratamiento tanto de la variable de respuesta como de las variables complementarias. Se aplicó un análisis de varianza al 5% con la variable de respuesta, bajo el diseño experimental propuesto. Adicionalmente, se construyeron las curvas de las variables complementarias vs. el tiempo de secado para cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de las cubiertas plásticas

La Figura 1 muestra los espectros de transmisión de luz de cada color evaluado. Se observa que la transmisión de luz comienza a partir de 340 nm, dado por el bloqueo UV adicionado al plástico, característico de la cubierta estándar, sin color (línea morada). Las diferencias por color se observan principalmente en el azul, que permite una mayor transmisión entre 380 nm y 560 nm, contrario a lo que sucede con los colores naranja y rojo que transmiten a partir de 560 nm. Respecto al infrarrojo (a partir

de 750 nm) todos aumentan la capacidad de transmisión, siendo mayor para el plástico de referencia o estándar y menor para el verde, seguido del azul. Lo anterior se traduce en aumento de temperatura bajo la cubierta.

La difusión se refiere a la transmisión de la luz a través de un medio traslúcido y no transparente, en la que la energía de la radiación incidente pasa a ser radiada en otras direcciones, disminuyendo la intensidad de la radiación (Tipler, 1999). El cambio de color en el plástico afectó principalmente el porcentaje de transmisión total y difusa, así como la difusión de luz total, siendo el color verde el que menor transmisión genera (Tabla 1). Lo anterior implica alta probabilidad de generar condiciones de penumbra durante el secado, dificultando la disminución de humedad del grano, prolongando en exceso el tiempo de secado y ocasionando riesgos para la calidad y la inocuidad del café. Los colores de la cubierta que presentaron mayor transmisión de luz son el azul seguido del amarillo, de los cuales el primero presentó

mayor difusión total, que representa mayor dispersión de la luz una vez ésta atraviesa la película plástica, indicando los mismos niveles de luz al interior del secador.

La variación del color en el plástico no afectó el bloqueo de la luz ultravioleta (UV), que es una característica propia del plástico de referencia, dado por el aditivo incorporado para que cumpla con esta función. El bloqueo de radiación ultravioleta (UV) es una propiedad óptica a considerar, básicamente por estar relacionada con la mayor durabilidad del plástico, ya que los rayos UV son la principal causa de su degradación (PQA, 2001).

Las diferencias en las propiedades ópticas se basan en diferentes porcentajes de transmisión de luz total y difusa, cuyos valores absolutos, de acuerdo con la caracterización, se presentan en la Tabla 2. Con base en esta información, para la investigación se seleccionaron las cubiertas de color naranja, color azul y la cubierta del tratamiento cuatro (conocida como AgrocLEAR

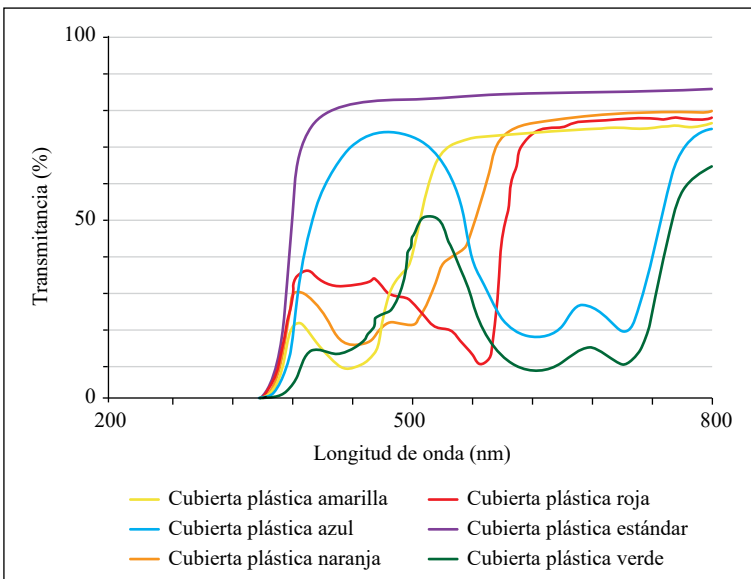


Figura 1. Espectros de transmisión de luz ultravioleta y visible en plásticos de diferentes colores.

X), cuyas propiedades garantizan un porcentaje de termicidad mayor y diferente al de los demás tratamientos, con color muy similar al de la utilizada para el tratamiento 1 (plástico de referencia). Todas las cubiertas utilizadas para el ensayo se encontraban en calibre 7.

Así mismo, se observa que cada cubierta tiene una propiedad óptica que la hace diferente de las otras y se encuentran resaltadas en negrilla. Los secadores construidos a escala y montados con las cubiertas plásticas se observan en la Figura 2.

Tabla 1. Transmisión y difusión de luz de las cubiertas plásticas de acuerdo con el cambio de color.

Plástico	Calibre	Bloqueo UV (nm)	Transmisión de luz total (%)	Transmisión de luz difusa (%)	Difusión de luz total (%)
Transparente (referencia)	6	340	83,74	48,50	57,91
Referencia + azul	6+1	340	59,70	39,40	65,90
Referencia + verde	6+1	340	21,07	15,13	24,34
Referencia + rojo	6+1	340	42,98	25,27	59,49
Referencia + amarillo	6+1	340	53,27	30,04	56,39
Referencia + naranja	6+1	340	47,80	26,11	54,62

Tabla 2. Tratamientos utilizados de acuerdo con las características de las cubiertas plásticas.

Tratamiento	Color	Termicidad (%)	Transmisión de luz			Difusión de luz total (%)
			UV (nm)	Total (%)	Difusa (%)	
T1	Transparente	50 ± 10	250	84,87	46,78	55,11
T2	Azul	55 ± 10	340	59,70	39,40	65,90
T3	Naranja	55 ± 10	340	47,80	26,11	54,62
T4	Transparente	80 ± 5	380	83,92	43,14	51,40
Testigo	Amarillo verdoso	55 ± 10	340	53,27	30,04	56,39

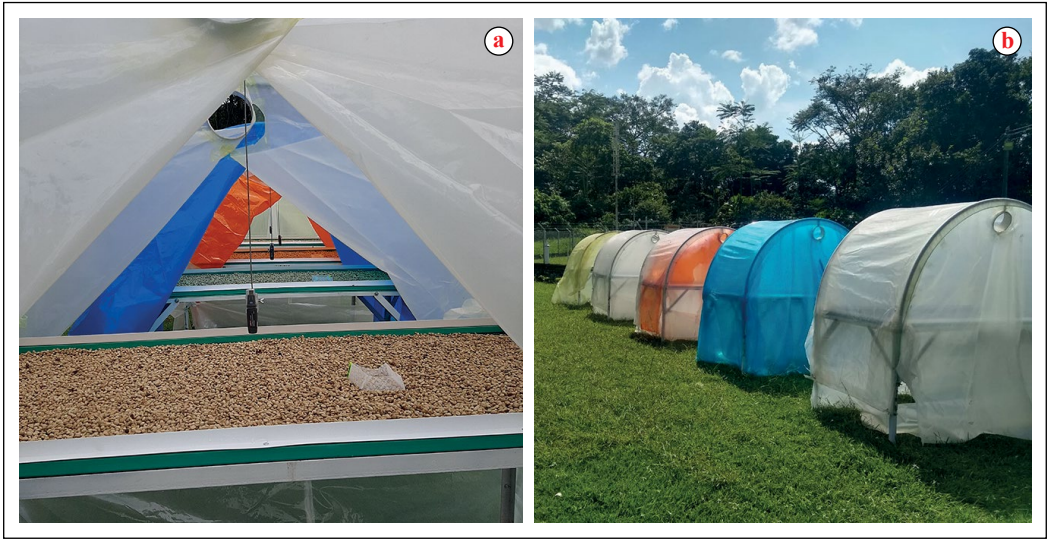


Figura 2. Secadores solares tipo túnel construidos a escala. **a)** Cubiertas plásticas utilizadas como tratamientos; **b)** Ubicación del sensor de temperatura y humedad relativa dentro de los secadores.

Humedad final del café y tiempo de secado

La humedad del café pergamino seco estuvo dentro de los rangos establecidos, con un promedio general de 11,0%. La dinámica del secado solar, depende de las condiciones climáticas que se presenten durante el proceso, por tal razón se presentan diferentes tiempos de secado en cada uno de los bloques experimentales realizados, en un rango entre 132,8 y 259,4 horas (Tabla 3). Según Ramírez et al. (2012), la zona cafetera colombiana posee un promedio de brillo solar de 4,5 h d⁻¹, durante las pruebas el valor de esta variable estuvo entre 1,7 y 5,7 h y un rango entre 20,7 y 40,2 h para alcanzar la humedad del café deseada, independiente del comportamiento de las demás variables climáticas.

El tiempo de secado promedio por tratamiento estuvo entre 125 y 270 h, con variaciones por el tipo de cubierta plástica, siendo el testigo el tratamiento que presentó

menores tiempos de secado. En general, esta variable estuvo entre 5 y 11 días (Tabla 4); resultados similares fueron encontrados por Oliveros et al. (2006) utilizando el secador de túnel, con área de secado de 10 m² con este tipo de cubierta. Las diferencias de tiempo de secado respecto al testigo pueden estar relacionadas con el porcentaje de transmisión de luz total de las cubiertas (Tabla 2), ya que a mayores valores de esta característica menores tiempos de secado y viceversa.

Temperatura del aire dentro del secador

La Figura 3a muestra el promedio de la temperatura del aire dentro de los secadores, para cada uno de los bloques experimentales, así como el promedio de la temperatura diaria del ambiente. En general, se presentó una temperatura promedio al interior del secador superior a la del ambiente en todos los tratamientos entre 2,7 y 6,1°C, en las que el tratamiento 4 y el testigo fueron los que

Tabla 3. Valores promedio para las variables tiempo de secado, temperatura, humedad relativa del aire y brillo solar, durante la realización de la investigación.

Bloque	Tiempo de secado (h)	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Brillo total diario (h)
		Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	
4	132,8	18,3	23,3	31,6	43,7	75,9	96,8	4,2
6	154,8	17,6	22,0	30,2	47,2	83,9	100,0	5,7
3	166,0	17,9	22,3	30,4	47,5	82,0	98,4	3,6
2	170,0	18,0	21,9	29,6	52,4	84,5	99,8	2,8
10	175,6	16,7	20,7	28,7	52,8	86,2	100,0	3,2
5	181,8	17,7	21,9	30,0	49,9	83,5	99,7	3,3
8	182,2	17,8	21,7	29,8	52,6	85,5	100,0	3,7
9	202,2	17,0	20,5	28,5	55,2	88,5	100,0	2,8
1	240,2	18,0	21,4	27,8	61,3	89,5	99,5	1,7
7	259,4	18,1	22,3	30,6	48,6	81,6	98,6	2,8

presentaron la mayor diferencia. La cubierta plástica utilizada en el tratamiento 4 presenta el mayor porcentaje de transmisión de luz total y el más alto valor de termicidad (Tabla 2). Del mismo modo, durante el secado se observa la influencia del tipo de cubierta sobre la temperatura diaria al interior del secador, conservando el comportamiento descrito anteriormente. La temperatura promedio alcanzada al interior de los secadores es influenciada por la temperatura promedio del ambiente durante el día. Para explicar este comportamiento la Figura 3b presenta la información registrada por cada tratamiento en uno de los bloques experimentales, en el que se obtuvo entre ocho y 11 días de secado.

En la Figura 3c las líneas verdes demarcan los valores mínimo, medio y máximo de la temperatura ambiente en 17,8°C, 21,7°C y 29,8°C, respectivamente, durante la evolución del bloque experimental. Se observa el comportamiento de esta variable durante el día y la noche, en el transcurso del secado. Los valores más altos se presentaron entre las 10:00 de la mañana y las 3:00 de la tarde, alcanzando valores puntuales por encima de 50°C en todos los tratamientos, excepto para la cubierta azul (T2). Este tratamiento presentó valores promedio por hora de temperatura inferiores entre 0,5°C y 3,0°C respecto a los demás tratamientos (Figura 3d).

Tabla 4. Valores promedio y desviación estándar para la humedad final del café y el tiempo de secado solar utilizando diferentes cubiertas plásticas (tratamientos).

Tratamiento	Humedad cps (% b.h.)	Tiempo de secado (días)			Diferencia con testigo (h)
		Promedio	Mínimo	Máximo	
T1	10,85 ± 0,91	7,2	5,2	9,2	3,0
T2	11,14 ± 0,94	8,5	6,1	11,3	33,6
T3	11,03 ± 1,04	8,8	6,1	11,2	40,3
T4	11,20 ± 0,37	7,2	5,1	11,2	2,1
Testigo	11,01 ± 0,61	7,1	5,1	11,2	—

En general, se registraron temperaturas inferiores a la mínima del ambiente durante los bloques experimentales por cortos períodos de tiempo, siendo el tratamiento 4 el que presentó menores valores, probablemente debido al mayor porcentaje de termicidad del plástico (Tabla 2), propiedad que mantiene la temperatura bajo de la cubierta por más tiempo. Estas diferencias tienen relación con la entalpía de evaporación del agua sobre todo al inicio del secado, que hace que aumente la humedad relativa por mayor presión de vapor dentro del grano, lo que disminuye la temperatura registrada dentro del secador.

Estudios realizados por Vélez-Piedrahita et al. (2019), mencionan que la viabilidad de un secador solar es determinada por las diferencias entre los valores de temperatura y humedad relativa al interior del secador y las del ambiente. Datos experimentales obtenidos por estos autores indican diferencias de temperatura promedio entre 1,9°C y 3,6°C, realizando la medición a 10 cm de la capa de café, en un secador solar de túnel con la misma geometría y configuración que la utilizada en la investigación objeto del presente artículo, en el que los sensores se ubicaron a 15 cm de la masa de café. Se debe resaltar

que el volumen del aire entre la superficie del café y la cubierta, además del tamaño del área disponible para el flujo de aire tienen gran influencia sobre las condiciones que se generen al interior del secador. Los secadores solares de túnel se caracterizan por tener mayor eficiencia térmica debido al diseño, configuración y manejo, con una reducción en el tiempo de secado que genera ventajas para el caficultor (Oliveros et al., 2006).

Pérdida de humedad del grano

Las curvas de secado obtenidas muestran diferentes velocidades de evaporación de acuerdo a la condición del tratamiento y a las condiciones que se presentan entre el día y la noche. Se registró una mayor pérdida de humedad del café para el tratamiento 4 y el testigo, al pasar del 30,7% al 21,3% en un tiempo de 8,0 h, que coincide con el incremento de temperatura media del ambiente para el sexto día de proceso, para el cual las condiciones ambientales promedio fueron de 23,3°C y 75,8% de humedad relativa.

La Figura 4 muestra dos ejemplos de las curvas de humedad obtenidas, en tiempos de secado entre 170 h (a) y 250 h (b). En general,

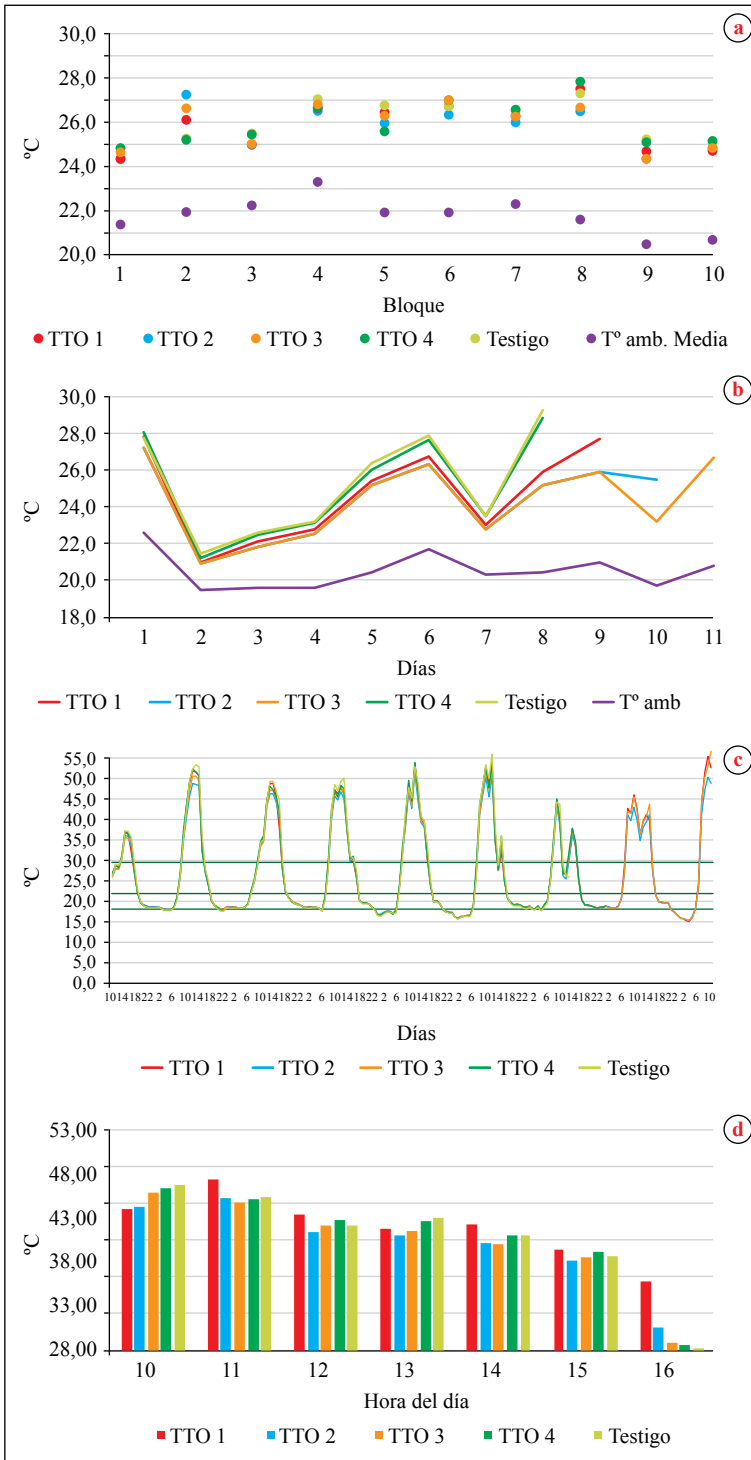


Figura 3. Temperaturas promedio para los diferentes tratamientos evaluados. **a)** En los bloques experimentales; **b)** En uno de los bloques experimentales; **c)** Durante los tratamientos; **d)** Promedio de temperatura por hora, durante los registros más altos durante el día.

se observan tres etapas del proceso; la primera (I) en la que el café de todos los tratamientos perdió humedad de manera similar, con las tasas de evaporación similares entre todos los tratamientos, hasta tener una humedad cercana al 45% b.h., definida como “café seco de agua”. La segunda etapa (II) en la que se presenta la mayor pérdida de humedad desde aproximadamente el 45% b.h. hasta el 15% a 25% b.h. y se observan diferencias en las tasas de evaporación de acuerdo con el tratamiento. Y la tercera etapa (III) se caracteriza por la pérdida de humedad durante el día,

pero ganancia en la noche, conocido como rehumedecimiento en los granos, con algunas diferencias entre los tratamientos.

La explicación a estos comportamientos se da por las diferencias en las presiones de vapor que se presentan a medida que avanza el proceso, durante el secado la presión de vapor del grano es mucho mayor a la del ambiente ($P_{v_{grano}} \cdot P_{v_{aire}}^{-1} > 1$), por lo que el flujo de agua se da del grano hacia el ambiente (Borem, 2014). La primera etapa se da por el alto contenido de humedad en

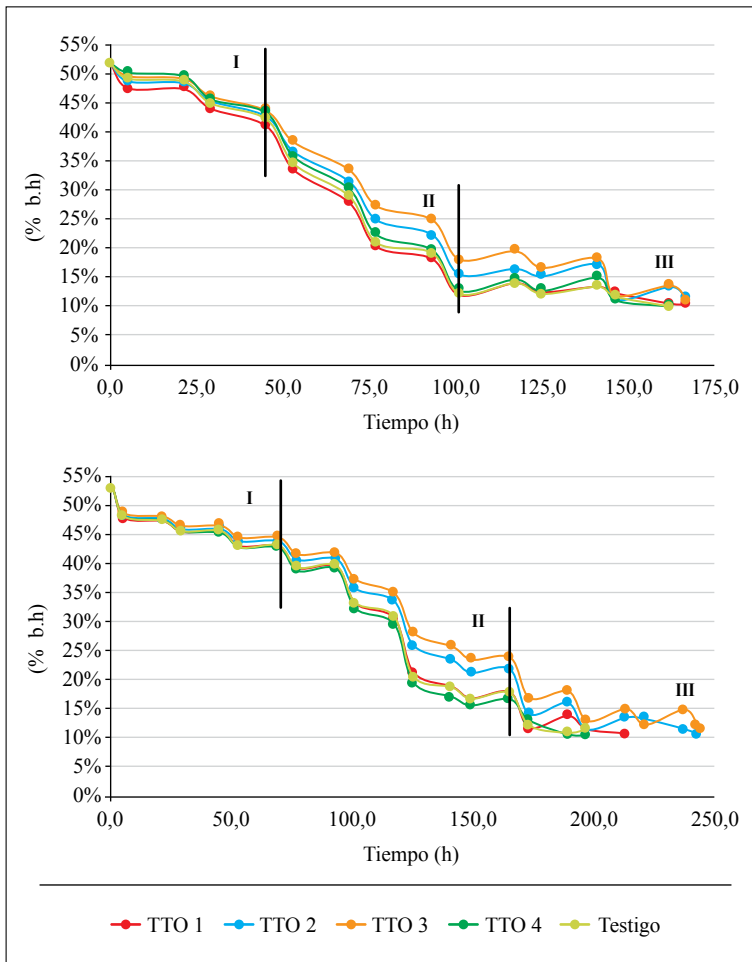


Figura 4. Humedad del café vs tiempo de secado solar con diferentes tipos de cubiertas plásticas.

el grano, con una alta presión de vapor que indica que hay remoción de humedad, aunque no se presenten condiciones ambientales para el secado o las condiciones generadas por las cubiertas plásticas sean diferentes; en esta etapa se considera de gran importancia el flujo de aire para evacuar el aire exhausto dentro del secador. En la segunda etapa, las condiciones de secado dadas por cubiertas plásticas generan diferencias en las tasas de extracción de humedad de cada tratamiento. El comportamiento de rehumedecimiento observado en la última etapa se debe a que el grano se encuentra sometido a una humedad relativa por encima del 70% durante las horas de la noche, en esta condición se invierte la relación en las presiones de vapor ($P_{v_{grano}} \cdot P_{v_{aire}}^{-1} < 1$), generando una mayor presión de vapor del aire sobre el grano haciendo que este absorba nuevamente agua del ambiente, en un rango entre 0,5% y 2,0% b.h., que dependen de la humedad del grano y de la del aire, la Figura 5 muestra un ejemplo de este comportamiento, obtenido durante la ejecución de uno de los bloques experimentales. La humedad de

equilibrio higroscópico para café pergamino se mantiene para la humedad relativa del ambiente inferior a 75%, a humedad mayor al 80% la humedad de equilibrio del café está en el rango entre 15% y 19% b.h. (Trejos et al., 1989).

Calidad sensorial

Todas las condiciones y variables presentadas durante las tandas de secado con el uso de los diferentes tipos de cubiertas plásticas, permitieron obtener el café pergamino seco. Sin embargo, a pesar de las diferencias en los procesos de secado no se obtuvo diferencias en la calidad sensorial. Las calificaciones para el café proveniente de los tratamientos estuvieron cercanos a 81 puntos SCA (Figura 6), calidad que refleja las características dadas por la variedad, oferta ambiental y prácticas agronómicas (Peñuela y Sanz, 2021). El análisis de varianza no mostró efecto de tratamientos ($p=0,657$) pero sí entre los bloques ($p=0,025$). Sobre la variable calidad sensorial, tiene mayor influencia la calidad inicial del café que es procesado que el secado solar.

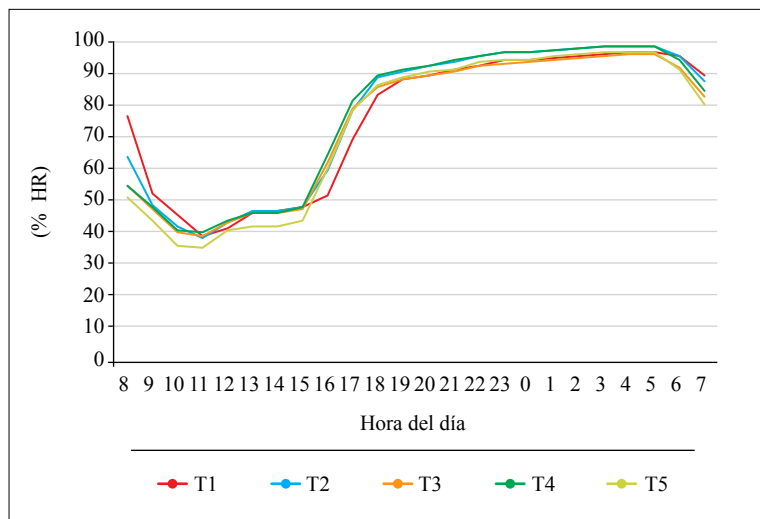


Figura 5. Comportamiento de la humedad relativa del aire, durante el transcurso del día, al interior de los secadores.

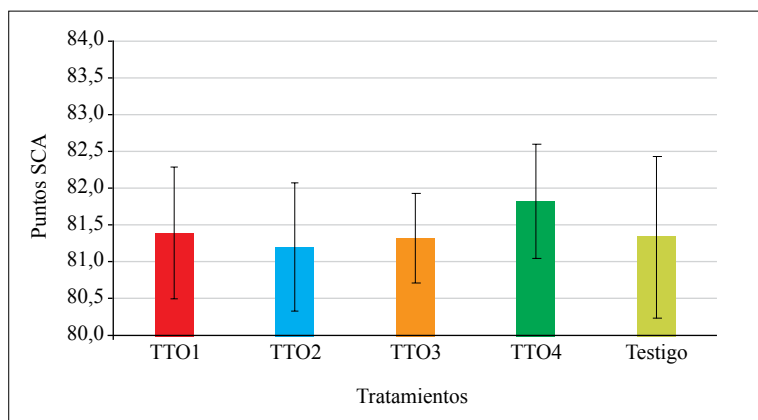


Figura 6. Calidad sensorial en puntos SCA del café obtenido con secado solar bajo diferentes tipos de cubiertas plásticas.

De igual manera, los principales atributos no reflejaron diferencias entre tratamientos (Tabla 5), de acuerdo con los valores medios obtenidos de los diez bloques experimentales realizados. Los valores promedio obtenidos describen una calidad sensorial normal, sin resaltarse algún atributo en especial, sin embargo, descriptivamente los valores para fragancia/aroma están ligeramente superiores a los demás atributos, lo que es atribuido a la especie y tipo de proceso.

Se observó una mayor probabilidad para presentar defectos en el tratamiento 4 (30%) y el tratamiento 1 (25%), con mayor porcentaje de defectos y con cubiertas con el 84% de transmisión de luz total (Tabla 2). Mientras que la menor probabilidad de defectos fue para los tratamientos 2 y 3 (10%), estos dos tratamientos corresponden a las cubiertas con menor transmisión de luz total y los que menor temperatura y mayor tiempo de secado presentaron.

Calidad de las cubiertas

Los valores que se presentan en la Tabla 6 corresponden a la reducción porcentual en las propiedades evaluadas. La transmisión de luz total se redujo entre 7% y 13%, lo que

se encuentra en valores normales debido a la acumulación de polvo dada la exposición del plástico en ese período de tiempo; que a su vez aumentó los valores de difusión, siendo mayor en el testigo (T5). Se considera que los cambios en la termicidad son mínimos, ya que variaron entre 2% y 5%.

Respecto a las propiedades mecánicas, se observa que la cubierta plástica azul (T2) es la que presenta la mayor reducción, haciéndola poco resistente en un corto período de tiempo y explicado por la mayor absorción de radiación y exposición a la humedad, conocidas como unas de las principales causas de la degradación de los plásticos (Posada Bustamante, 1994).

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron concluir que las características de los plásticos utilizados en el secado solar no modificaron los atributos en taza, ni se obtuvieron diferencias respecto al testigo. La calidad global del café no se afecta por efecto de las cubiertas plásticas utilizadas durante el secado solar; sin embargo, se encontró una mayor probabilidad de presentar defectos en las cubiertas que presentan mayor porcentaje de transmisión global, relacionado con la radiación directa sobre el grano.

Tabla 5. Promedios y desviación estándar para el puntaje de atributos según SCA para café procedente de diferentes tratamientos de secado solar.

Tratamiento	Fragancia/ Aroma	Sabor	Sabor residual	Acidez	Cuerpo
T1	7,56 ± 0,18	7,25 ± 0,13	7,19 ± 0,17	7,46 ± 0,14	7,33 ± 0,19
T2	7,49 ± 0,18	7,28 ± 0,12	7,19 ± 0,17	7,32 ± 0,14	7,39 ± 0,09
T3	7,51 ± 0,14	7,29 ± 0,13	7,20 ± 0,09	7,38 ± 0,15	7,43 ± 0,10
T4	7,48 ± 0,21	7,34 ± 0,22	7,27 ± 0,18	7,43 ± 0,16	7,42 ± 0,12
T5	7,55 ± 0,25	7,32 ± 0,26	7,23 ± 0,20	7,35 ± 0,17	7,48 ± 0,14

Tabla 6. Reducción de las propiedades ópticas y mecánicas de las cubiertas plásticas utilizadas en el secado solar del café.

Tratamiento	Propiedades ópticas			Propiedades mecánicas		
	Transmisión de luz total (%)	Difusión de luz Total (%)	Termicidad (%)	Resistencia a la rotura por impacto (%)	Resistencia a la propagación del rasgado (%)	Esfuerzo a la rotura (%)
T1	7	-5	2	-5	-3,6 DM 1,1 DT	13,8 DM 0,3 DT
T2	11	13	3	59	42,1 DM -2,5 DT	0,5 DM 11,7 DT
T3	6	6	5	18	0,21 DM -1,43 DT	9,98 DM 18,6 DT
T4	11	-6	2	26	16,6 DM -4,9 DT	14,4 DM 8,9 DT
T5	13	-22	-5	8	0,1 DM -1,0 DT	8,9 DM 9,7 DT

DM: Dirección máquina DT: Dirección transversal

Las mayores diferencias se aprecian en las variables relacionadas con el desarrollo del proceso de secado, como son el tiempo total, temperaturas dentro del secador y comportamiento de la pérdida de humedad del grano. La forma cómo transcurre el proceso si bien no resalta ni atenúa los atributos o la calidad general del café, si puede tener un efecto posterior, dado el deterioro del grano, por el mayor tiempo de exposición del café a mayores temperaturas.

Las cubiertas plásticas evaluadas con diferentes propiedades ópticas no influyen sobre la calidad final. El secado solar del café es una etapa necesaria para mantener la calidad del café, es necesario considerar que el cambio en el tipo de cubierta no aporta ventajas en la calidad que reflejen un ingreso mayor al caficultor; por el contrario, representarían un mayor costo dada la reducción en las propiedades mecánicas, que hacen que la cubierta de color azul presente menor resistencia al impacto y al rasgado, teniendo que ser reemplazada en

menor tiempo que la cubierta tradicionalmente usada para el secado de café y utilizada en esta investigación como testigo.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en este documento corresponden a la investigación POS100001, que fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). Los autores agradecen a Jorge Alexander Londoño por el apoyo en el diseño y construcción de los secadores y al personal de apoyo en la Estación Experimental Naranjal, por su valiosa colaboración en el suministro oportuno de café con las características específicas y al panel de Catación de Cenicafé por el análisis sensorial de las muestras. Así mismo, a la empresa Plásticos y Químicos Andinos por suministro de la información técnica, de los plásticos necesarios para la evaluación y el apoyo en las pruebas ópticas y mecánicas de las cubiertas utilizadas.

LITERATURA CITADA

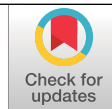
- Borém, F. M. (2014). *Handbook of Coffee Post-Harvest Technology*. Gin Press.
- Cabrera Morales, C. M., & López-Nevot, M. A. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncología (Barcelona)*, 29(7), 291–298. <https://doi.org/10.4321/S0378-48352006000700003>
- Espí, E. (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 3, 71–88. <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-550.pdf>
- Haro-Maza, J. F., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1), 68–77. <https://tsia.udlap.mx/efecto-de-la-radiacion-uv-c-en-frutas-y-verduras/>
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Peñuela-Martínez, A. E. (2006). Secador solar de túnel para café pergamino. *Avances Técnicos Cenicafe*, 353, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/402>
- Oliveros-Tascón, C. E., Peñuela-Martínez, A. E., & Jurado, J. M. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravimet. *Avances Técnicos Cenicafe*, 387, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/385>
- Oliveros-Tascón, 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). Cenicafe. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_29
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez, C. A., Tibaduiza, C. A., & Sanz-Uribe, J. R. (2017). Construcción de

- secadores solares tipo túnel con nuevos materiales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 489, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0489>
- Parra Coronado, A., Roa Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz Uribe, J. R. (2017). *Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Peñuela-Martínez, A. E., & Sanz-Uribe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 189–218). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- Posada Bustamante, B. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67–86. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>
- Productos Químicos Andinos – PQA. (2001). Portafolio de presentación. <https://www.pqapag.co/en/productos-y-servicios/>
- Ramírez, V. H., Jaramillo, A., Peña, A., & Valencia, J. (2012). El brillo solar en la zona cafetera colombiana, durante los eventos El Niño y La Niña. *Avances Técnicos Cenicafé*, 421, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/329>
- Roa Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2000). Utilice la energía solar para secar correctamente el café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 281, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0281>
- Tipler, P. A. (1999). Properties of light. En *Physics for scientists and engineers* (4a ed., Vol. 2, pp. 1027–1049). Worth Publishers.
- Trejos, R., Roa Mejía, G., & Oliveros-Tascón, C. E. (1989). Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. *Revista Cenicafé*, 40(1), 5–15. <http://hdl.handle.net/10778/841>
- Vélez-Piedrahita, S., Ciro-Velásquez, H. J., Osorio-Saraz, J. A., & Largo-Avila, E. (2019). Estudio del efecto de la geometría de un secador solar típico para café con CFD. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 149–161. <https://doi.org/10.22395/riium.v18n35a9>

VISITANTES FLORALES DE *Ochroma pyramidale* EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ Y COBERTURA NATURAL EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

Rocío Espinosa Aldana *, Zulma Nancy Gil Palacio **, Pablo Benavides Machado **

Espinosa A., R., Gil P., Z.N., & Benavides M., P. (2022). Visitantes florales de *Ochroma pyramidale* en sistemas agroforestales con café y cobertura natural en el departamento de Santander. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73207. <https://doi.org/10.38141/10778/73207>



Ochroma pyramidale (balso negro) es una especie nativa de importancia ecológica y económica en Colombia, empleada en sistemas agroforestales, de la cual se desconoce su aporte a la biodiversidad y quiénes visitan sus flores en diferentes coberturas; por esto se evaluó la riqueza y abundancia de visitantes florales del balso en sistemas agroforestales y cobertura natural en el departamento de Santander, mediante grabaciones diurnas y nocturnas, a 414 flores, para registrar visitantes y sus interacciones; además se recolectaron 533 flores del suelo para identificar y cuantificar los individuos encontrados en su interior. Se muestrearon dos cafetales con sombra, cerca y lejos de fragmentos de bosque y un fragmento de bosque con cobertura natural. Se registraron 18 especies de aves, 15 géneros y seis familias; siete géneros de mamíferos de tres órdenes; siete órdenes de insectos y uno Araneae, distribuidos en 33 familias. El cafetal con sombra presentó mayor abundancia y riqueza de aves y mamíferos, la cual aumenta cuando hay mayor presencia de vegetación natural. El 44,3% de las flores del suelo no tenían individuos en el interior; el promedio de individuos muertos por flor fue de $3,3\pm 0,2$, en donde la presencia de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) fue de $1,7\pm 0,1$, siendo más alto en el cafetal con sombra lejos de fragmentos con $4,3\pm 0,3$. Los mamíferos presentaron mayor proporción de visitas legítimas a la flor (contacto con las estructuras internas), con 86,9%, con respecto al total de las visitas de este grupo. El balso es un recurso alimenticio para diversos organismos, pudiendo ser los mamíferos el grupo más eficiente como polinizadores por la cantidad de visitas legítimas a la flor. Adicionalmente, la mortalidad de insectos en el balso en el cafetal con sombra lejos de fragmentos podría indicar un posible desbalance ecológico determinado por características específicas del paisaje.

Palabras clave: *Apis mellifera*, balso negro, biodiversidad, *Coffea arabica*, conservación, estudio multi-taxa, especies nativas, paisaje, Cenicafé, Colombia.

FLOWER VISITORS OF *Ochroma pyramidale* IN AGROFORESTRY SYSTEMS WITH COFFEE AND NATURAL COVER IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER

Ochroma pyramidale (balsa tree) is a native species of ecological and economic importance in Colombia, used in agroforestry systems; its contribution to biodiversity and to visitors of its flowers in different covers is unknown. For this reason, the richness and abundance of balsa flower visitors and their interactions in agroforestry systems and natural coverage in the department of Santander were evaluated through day and night recordings in 414 flowers. In addition, 533 flowers were collected from the ground to identify and quantify the individuals found inside. Two shaded coffee plantations were sampled, near and far from forest fragments and a forest fragment with natural cover. Eighteen bird species, 15 genera and 6 families were recorded; 7 genera of mammals of 3 orders; 7 orders of insects and one Araneae, distributed in 33 families. The shaded coffee plantation had greater abundance and richness of birds and mammals, which increases when there is a greater presence of natural vegetation. There were no individuals inside 44.3% of the soil flowers; the average of individuals killed by flowers was 3.3 ± 0.2 , the presence of *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) was 1.7 ± 0.1 , it was higher in the shaded coffee plantation away from fragments with 4.3 ± 0.3 . Mammals had a higher proportion of legitimate visits to the flower (contact with internal structures), with 86.9%, compared to the total visits of this group. Balsa is a food resource for various organisms, being mammals may be the most efficient group as pollinators because of the number of legitimate visits to the flower. Additionally, the mortality of insects in the balsa tree in coffee plantations with shade away from fragments could indicate a possible ecological imbalance determined by specific characteristics of the landscape.

Keywords: *Apis mellifera*, black balsa, biodiversity, *Coffea arabica*, conservation, multi-taxa study, native species, landscape, Cenicafé, Colombia.

* Médica Veterinaria y Zootecnista, M.Sc. Ciencias Biológicas Universidad de Caldas. <https://orcid.org/0000-0002-2665-7188>

** Investigador Científico II e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-7013-1231> y <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>



Las especies nativas vegetales han sido empleadas en sistemas agroforestales y fomentadas por las certificaciones ambientales por su contribución a la conservación de la biodiversidad, con beneficios demostrados en diversos estudios (Perfecto et al., 1996; Moguel & Toledo, 1999; Perfecto et al., 2003; Rainforest Alliance, 2017; Smithsonian Migratory Bird Center, 2017). El uso de estas especies bajo criterios productivos y de conservación, busca en general, que la estructura y composición de los cafetales se asemejen a los bosques naturales y que las especies seleccionadas no compitan con el cultivo. Sin embargo, para muchas de estas especies las relaciones ecológicas y el valor real de su aporte a la conservación de la biodiversidad han sido poco estudiados (Perfecto et al., 1996; Smithsonian Migratory Bird Center, 2017).

Ochroma pyramidale es una especie pionera de la familia Bombacaceae que alcanza hasta los 30 m de altura, con una distribución en Colombia en las regiones del Bajo Calima, Huila, Magdalena Medio, Nariño, Tolima, Urabá y Valle del Cauca (Conabio, 2012; Francis et al., 2000; López Camacho & Montero González, 2005). Se considera un género monotípico a pesar de su amplia distribución y cierto grado de variación morfológica entre regiones (Francis et al., 2000; Conabio, 2012).

Varios autores describen que la especie presenta flores con síndrome quiropterofilia (Janson *et al.*, 1981; Mora et al., 1999; Francis et al., 2000). Este síndrome se presenta principalmente en el trópico y se caracteriza entre otros, por apertura nocturna, flores blanquecinas y producción de abundante néctar diluido, dominado por glucosa (Amaya-Márquez, 2016), el cual alcanza un volumen entre los 10 y 25 mL por flor, las cuales pueden permanecer en el árbol de 1 a 2 días (López Camacho & Montero González, 2005; Brighenti & Brighenti 2010; Kays et al., 2012).

Esta especie es reconocida por su uso potencial en agroforestería (Rivera-Posada & Gómez 1992; Farfán, 2012); en Mesoamérica se ha identificado como una especie que en cafetales puede contribuir a mejorar la oferta de alimento para las abejas en época de baja floración de otras especies botánicas (Arce et al., 2001). Sin embargo, información sin soporte científico y derivada de observaciones, fue publicada por medios de comunicación donde alarmaron a la comunidad en general sobre la mortalidad de abejas en flores del balso en el departamento de Santander y propusieron que esta especie no es apta para su uso como sombrío; en dichos medios se sugirió que el balso podría estar extinguiendo y comprometiendo a poblaciones de abejas e incluso otros visitantes florales como colibríes (Clavijo Figueroa, 2014; RCN Radio 2014; Unimedios, 2014; Vanguardia, 2014).

La relación entre el balso y los visitantes florales es un tema poco documentado y solo se tiene información parcial en países como Brasil, Costa Rica y Panamá. No hay muchos estudios especializados y ninguno realizado en sistemas agroforestales. Se conoce por un estudio en el bosque tropical de Barro Colorado (Panamá), que la flor de esta especie es visitada por al menos 22 especies de vertebrados, entre los cuales se encuentran 13 especies de aves diurnas y nueve de mamíferos diurnos y nocturnos, además de insectos y una especie de serpiente (Kays et al., 2012). Otros visitantes han sido identificados por observaciones adicionales, como el caso del *Nasua nasua* (coati) (Mora et al., 1999), un murciélago de la especie *Monophyllus redmani*, que fue encontrado con restos de polen en los bosques de la Reserva de la Biosfera “Sierra del Rosario” en Cuba (Mancina et al., 2002), y el murciélago *Phyllostomus hastatus* se registró forrajeando en grupos grandes cuando se alimentaban de recursos concentrados de las flores del balso (Wilkinson & Boughman, 1998).

Con respecto a otros grupos, Brighenti & Brighenti (2010) encontraron 949 insectos en 40 flores de balsa entre los cuales se identificaron individuos de Hymenoptera (98,1%), Hemiptera (0,95%), Coleoptera (0,74%) y Diptera (0,21%), y en donde la mayoría de los himenópteros eran abejas de los géneros *Partamona*, *Trigona* y *Apis*. Este estudio evaluó flores de balsa en el campus de la universidad de la ciudad de Lavras, localizada al Suroeste de Brasil, en un paisaje urbano densamente poblado.

A pesar del potencial que tiene el balsa negro como sistema agroforestal, se desconoce su contribución en el sostenimiento de la diversidad de visitantes florales y cómo el paisaje puede modular este aporte. Es por esto, que este estudio, de tipo exploratorio-descriptivo, pretende contribuir con información básica sobre la riqueza y abundancia de los visitantes florales del balsa y documentar su actividad en áreas del departamento de Santander donde el balsa se ha implementado como sombrío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se seleccionaron dos paisajes contrastantes en áreas donde el balsa negro se implementó como sombrío en cafetales en el departamento de Santander, en los municipios de Aratoca y Simacota. El paisaje uno se localizó en Simacota y se caracterizó por tener fragmentos de bosques contiguos, presencia de áreas de rastrojos altos y cañadas con vegetación ribereña; esta zona se encuentra aledaña a un área de importancia para la conservación como lo es el Parque Nacional Natural (PNN) Serranía de Yariquíes, considerado el remanente de bosque primario más grande sobre la vertiente Occidental de la cordillera Oriental (Moreno & Tinjacá, 2018). En este paisaje se seleccionaron

tres sitios con presencia de balsa negro, que correspondieron a: i) CNCF: cobertura natural cercano a fragmentos de bosque, ii) CSCF: café con sombra cercano a fragmentos de bosque, iii) CSAF: café con sombra aledaña a fragmento de bosque (Figura 1).

El segundo paisaje se seleccionó en Aratoca, una zona montañosa, caracterizada por tener suelos erosionados, con pocos remanentes de vegetación y donde los cafetales con sombra han ampliado la cobertura boscosa debido a árboles asociados al cultivo (Guhl, 2009). La distancia entre los paisajes es de 40 km aproximadamente. En este paisaje solo se seleccionó el sitio iv) CSLF: café con sombra lejos de fragmentos de bosque, ya que no se encontró cobertura natural con presencia de balsa (Figura 1).

En total se evaluaron cuatro sitios en dos paisajes, en donde en el CSAF no se aplicaron todas las metodologías para toma de datos, se seleccionó para analizar sólo la información de mortalidad de insectos en las flores y compararla con los otros sitios de muestreo.

i) CNCF. Fragmento de bosque de aproximadamente 14 hectáreas entre los 1400 y 1500 m.s.n.m, en la vereda La Montuosa del municipio de Simacota, en una zona con presencia de otros fragmentos de bosque, a 2,5 km del límite del PNN Serranía de Yariquíes en la vertiente Occidental.

ii) CSCF. Cafetal de aproximadamente 1,8 ha entre los 1.366 y 1.426 m.s.n.m, en la vereda Santana de Flores, municipio de Simacota, a 4,2 km del límite del PNN Serranía de Yariquíes y a 1,0 km del sitio CNCF. Cuenta con un sombrío diverso, con varias especies nativas de porte alto, además del balsa negro y arbustos de pequeño porte dentro de las calles del cafetal y presencia de herbáceas.

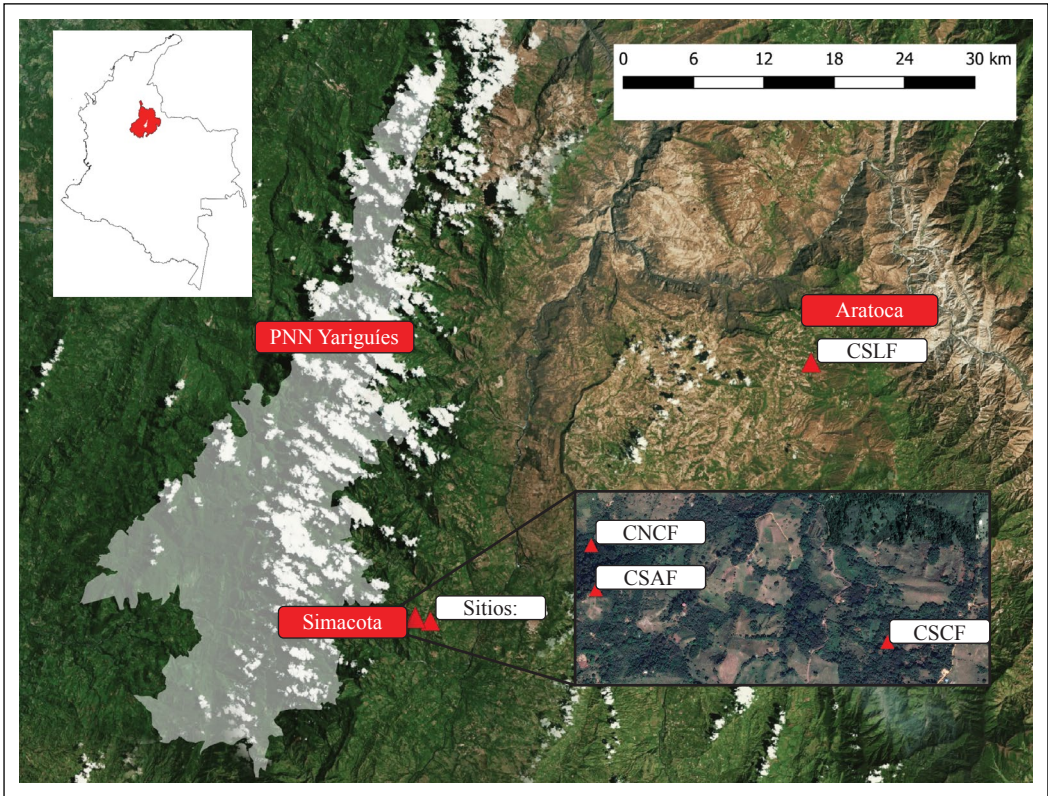


Figura 1. Localización de los sitios de estudio: CNCF (cobertura natural cerca de fragmentos), CSCF (café con sombra cerca de fragmentos), CSAF (café con sombra alejado a fragmento) y CSLF (café con sombra lejos de fragmentos).

iii) CSAF. Cafetal con un área aproximada de 1,0 ha, alejado a fragmento de bosque, ubicado a 1.500 m.s.n.m, en la vereda Montuosa del municipio de Simacota. Colinda con el sitio **CNCF**, presenta sombrío diverso predominado por balso y plantas herbáceas en su interior.

iv) CSLF. Cafetal con un área estimada de 10,4 ha ubicado en la vereda Cantabarra, municipio de Aratoca, a una altitud de 1.775 m. Se trata de un cafetal tecnificado con sombrío de balso negro y carbonero; presenta manejo excesivo de arvenses, sin presencia de plantas herbáceas en las calles del cafetal.

Metodología

En los sitios **CNCF**, **CSCF** y **CSLF** se realizaron grabaciones diurnas y nocturnas a las flores del balso y se registró el comportamiento de los visitantes del grupo de las aves y de los mamíferos. Adicionalmente, se identificaron y cuantificaron los insectos muertos en flores recolectadas del suelo. La información se recolectó durante dos muestreos, el primero en febrero de 2017 y el segundo en diciembre del mismo año, época reportada como pico de floración del balso.

Grabaciones. Para evaluar la riqueza y abundancia de los visitantes florales, se realizaron grabaciones diurnas y nocturnas de flores de balso que estuvieran totalmente abiertas y frescas, esto se hizo durante tres jornadas diurnas y tres nocturnas. Para cada jornada, se seleccionaron flores dispersas en el sitio, que estuvieran a una altura entre 10 y 20 m del observador y que pertenecieran a árboles distintos. Las grabaciones se realizaron en tres períodos de tiempo: diurna de 7:00-9:00, 11:00-13:00 y de 15:00-17:00 horas y nocturna de 19:00-21:00, 23:00-1:00 y de 3:00-5:00 horas. Se buscó grabar seis flores para cada período de tiempo, cada una durante 30 minutos. En total se evaluaron 414 flores durante 207 horas de grabación. En los sitios con cobertura natural cerca de fragmentos y café con sombra lejos de fragmentos se evaluó la misma cantidad de flores (142 en cada sitio, 71 diurnas y 71 nocturnas) y para el sitio café con sombra cerca de fragmentos se evaluaron 130 flores (67 diurnas y 63 nocturnas).

Para las grabaciones diurnas se utilizaron cámaras Nikon coolpix P510 (42x) y Canon powershot (30x), para las grabaciones nocturnas se utilizaron dos monoculares Bushnell equinox night visión (6x). Cuando se presentó lluvia se suspendió la grabación. Además, se realizaron observaciones con binoculares y monoculares con el fin de ampliar la información recolectada en los videos.

La identificación de los mamíferos del orden Chiroptera se realizó a partir de los caracteres observados en los videos por medio de fotogramas de los registros. De esta forma, se documentaron las características de los individuos y se revisaron las grabaciones con un experto en taxonomía de este grupo. Para cada individuo se tuvo en cuenta el perfil del rostro, tamaño con respecto a la flor, comportamiento del individuo y presencia/ausencia de uropatagio con sus características;

también se consideraron las áreas de distribución de las especies (Wilson & Reeder, 2005; Solari et al., 2013).

Las aves se identificaron en las grabaciones a partir de experiencia en el campo y con apoyo de las guías de identificación de Restall et al. (2006) y Ayerbe-Quiñones (2018). Los insectos solo se identificaron hasta clase, dada la complejidad de este grupo y de la calidad de las imágenes en las grabaciones. Para cada uno de los sitios evaluados se midieron las variables riqueza de categorías taxonómicas y abundancia (número de individuos por categoría), como variables de interés.

Identificación y cuantificación de insectos muertos en las flores de balso negro recolectadas del suelo. Se recolectaron flores frescas del suelo en los cuatro sitios seleccionados con el fin de verificar insectos muertos en su interior; esto se hizo de forma no sistemática a partir de recorridos en cada sitio y se realizó al final de cada día de muestreo. En total se recolectaron 533 flores: 105 en CNCF, 207 en CSCF, 153 flores en CSLF, y 68 flores en CSAF. En el campo, se realizó una pre-selección y conteo de los individuos muertos por flor y se identificaron y cuantificaron los correspondientes a *A. mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). También se registraron las marcas en las flores como perforaciones y rasgaduras, de las cuales se tomaron fotografías y cuando fue posible, se estableció si procedían de mamíferos. Los insectos presentes en cada una de las flores se depositaron en viales con etanol al 76% y se rotularon los grupos pre-seleccionados para cada sitio, con el fin de realizar la identificación taxonómica a nivel de orden y familia, la cual se realizó por comparación con los ejemplares depositados en el Museo Entomológico Marcial Benavides Gómez de Cenicafé (MEMB)- Manzales Colombia, y con base en las claves de Johnson & Triplehorn

(2004), usando un estereomicroscopio SMZ1500 marca Nikon. Las abejas se identificaron hasta género o especie con las claves de Michener (2000) y Silveira et al. (2002). Para cada sitio se cuantificó el número de individuos muertos para cada una de las categorías taxonómicas hasta donde fue posible realizar la identificación (orden, familia, género y especie).

Análisis de la información

Grabaciones. Se consideró como visita floral, cuando el organismo presentó contacto con alguna estructura de la flor, independiente si estaba en contacto con el polen o del número de interacciones que tenían; esto teniendo en cuenta que no se estaba evaluado su capacidad de polinización y que además un mismo individuo podía acceder varias veces a la misma flor. Se analizaron las visitas florales para establecer si existían diferencias entre los sitios evaluados. Como información adicional, se especificó el tipo de interacción del visitante con la flor, con el fin de obtener datos del comportamiento. Se estableció como “visitas legítimas”, aquellas donde había contacto con las estructuras internas de la flor y visitas de “robo” donde solo había contacto con la parte externa de la flor.

Para cada taxón y jornada de grabación, se determinó la proporción de flores sin visitas en cada sitio evaluado. Con las flores donde se registraron visitas, tanto para la jornada diurna como para la nocturna, se estimó el número medio de visitas por flor, la proporción de visitas de robo y la proporción de visitas legítimas, con su respectivo error estándar. Además, para cada taxón se aplicó un análisis de varianza de una vía y la prueba de Duncan para la comparación de los promedios de estas variables entre sitios.

Flores recolectadas del suelo. Por sitio se determinó la proporción de flores encontradas

sin individuos muertos. Con el total de las flores recolectadas, se estimó el promedio de individuos muertos por flor y el promedio de individuos muertos de *A. mellifera*, con su respectivo error estándar y a partir de un análisis de varianza de una vía, se aplicó la prueba de Duncan en la comparación de los promedios de estas variables entre sitios. Adicionalmente, se establecieron seis categorías de acuerdo con la totalidad de las flores recolectadas y el número máximo de individuos encontrados en cada flor, así: de 0 a 4; de 5 a 8; de 9 a 12; de 13 a 16; de 17 a 20 y de 21 a 24 individuos muertos por flor.

RESULTADOS

Riqueza y abundancia de los visitantes florales del balso negro

Se evaluaron 414 flores, de las cuales 164 fueron visitadas por insectos diurnos y 120 por nocturnos, 83 por aves y 47 por mamíferos. En éstas se registraron 8.207 visitas, 7.603 fueron diurnas (92,6%) y 604 nocturnas (7,4%). Del total de las visitas 3,9% pertenecieron a aves, 2,6% a mamíferos y 93,2% a insectos; solo el último grupo se registró tanto en las jornadas diurnas como nocturnas. De las flores que presentaron visitas solo se encontraron diferencias para la jornada nocturna en el grupo de los insectos, donde el promedio de visitas por flor fue mayor en el café con sombra cerca de fragmentos (Tabla 1).

Insectos. Se identificaron 7.664 visitas realizadas por insectos, las cuales oscilaron entre 1.590 y 913 en la jornada diurna y entre 99 y 27 en la jornada nocturna. Debido a la complejidad taxonómica y tamaño solo fue posible la identificación hasta clase, a pesar de esto, en las grabaciones se observaron individuos de los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera (Apidae, Vespidae y Formicidae), Lepidoptera y Orthoptera. El grupo de los

Tabla 1. Para las jornadas diurnas y nocturnas, promedio de visitas por flor y error estándar para cada taxón y sitio evaluado; CSCF: café con sombra cerca de fragmentos, CNCF: cobertura natural cerca de fragmentos; CSLF: café con sombra lejos de fragmentos.

Taxón	Sitio	Jornada	Visitas		
			Media		*E.E
Ave	CSCF	Diurna	3,2	A	0,46
Ave	CNCF	Diurna	3,3	A	0,68
Ave	CSLF	Diurna	3	A	0,41
Insecta	CSCF	Diurna	31	A	3,51
Insecta	CNCF	Diurna	39	A	3,42
Insecta	CSLF	Diurna	36	A	3,01
Insecta	CSCF	Nocturna	4,2	A	0,63
Insecta	CNCF	Nocturna	2,4	B	0,22
Insecta	CSLF	Nocturna	1,8	B	0,17
Mamífero	CSCF	Nocturna	7,6	A	3,86
Mamífero	CNCF	Nocturna	2,1	A	0,56
Mamífero	CSLF	Nocturna	2,7	A	0,71

* Para cada taxón, letras no comunes indican diferencias significativas según prueba Duncan al 5%. *E.E= Error estándar

insectos fue el único que realizó tanto visitas diurnas (7.278) como nocturnas (386). Se presentaron diferencias entre las jornadas y los sitios de muestreo (Tabla 2).

La proporción de flores no visitadas por este grupo durante la jornada nocturna fue de 32,2% en CSCF, 41,2% en CSLF y 12,9% CNCF. Durante la jornada diurna todas las flores fueron visitadas por insectos.

Aves. Se observaron 325 visitas todas durante la jornada diurna. La totalidad de los registros se identificaron hasta orden y familia y

el 97,8% hasta especie. Se registraron en total 19 especies pertenecientes a 14 géneros y seis familias. Con 241 visitas, la familia Throchilidae presentó la mayor cantidad (74,2%) seguida por Traupidae (15,4%); las familias restantes tuvieron el 10,5% de las visitas. Las especies que más visitaron las flores del balso fueron *Saucerottia cyanifrons* (Bourcier, 1843) con 141 (43,4%), *Coereba flaveola* (Linnaeus, 1758) con 39 (12,0%), *Colibri delphinae* (Lesson, 1839) con 31 (9,5%) y *Leiothlypis peregrina* (A. Wilson, 1811) con 26 visitas (8,0%) (Tabla 3).

Tabla 2. Número de visitas realizadas por los insectos a las flores del balso negro en los diferentes periodos de grabación y muestreos.

Período de grabación	Diurna			Período de grabación	Nocturna		
	M1	M2	Total		M1	M2	Total
7:00 a 9:00	1.144	969	2.113	19:00 a 21:00	91	68	159
11:00 a 13:00	1.331	1.590	2.921	23:00 a 1:00	47	54	101
15:00 a 17:00	1.331	913	2.244	3:00 a 5:00	99	27	126
Total	3.806	3.472	7.278	Total	237	149	386

M1: muestreo 1, M2: muestreo 2

De las especies encontradas se destacan dos migratorias en los cafetales con sombra, *Icterus galbula* (Linnaeus, 1758) y *L. peregrina* (A. Wilson, 1811). Así como entre las residentes, *Amazilia castaneiventris* (Gould, 1856), colibrí amenazado y endémico de Colombia registrado únicamente en CSCF.

Las aves visitaron más las flores del café con sombra que las que se encontraban en cobertura natural, con un porcentaje mayor de flores visitadas en el café lejos de fragmentos de bosque (64,8%). En general, los cafetales con sombra presentaron mayor número de especies y de visitas que en la cobertura natural (Tabla 3), en donde el número de visitas fue mayor entre las 7:00 y 9:00 a.m. en los sitios cercanos a fragmentos, mientras que en este mismo horario se registró el mínimo de visitas en el café con sombra lejos de fragmentos (Figura 2).

Mamíferos. Se registraron 218 visitas de mamíferos, únicamente durante la jornada nocturna. La totalidad de los visitantes se identificaron hasta orden y familia, 142 hasta género (65,1%) y 42 hasta especie (19,3%). Los órdenes encontrados fueron Rodentia

(roedores), Didelphimorphia (zarigüeyas) y Chiroptera (murciélagos); este último tuvo 214 visitas (98,2%), Rodentia y Didelphimorphia presentaron dos visitas cada uno, lo que representa el 1,8% del total de las visitas de mamíferos. Para Chiroptera solo se identificaron individuos de la familia Phyllostomidae de siete géneros y dos especies. El 46,7% de los registros de murciélagos se identificó a género, el 18,7% a especie y el 34% de estos solo se identificaron hasta familia. Las especies identificadas fueron *Phyllostomus hastatus* (Pallas, 1767) y *P. discolor* (Wagner, 1843). En el caso de Didelphimorphia se encontraron dos especies y para Rodentia, con dos visitas, no se estableció la identidad taxonómica más detallada (Tabla 3).

Las especies de murciélagos de los géneros *Anoura* Gray, 1838 y *Phyllostomus* Lacépède, 1799 fueron las que reportaron más visitas, con 71 (32,6%) y 40 (18,3) respectivamente. Para el género *Phyllostomus* fue posible identificar dos especies *P. discolor* (19 visitas) y *P. hastatus* con 21 visitas (Tabla 3). El máximo de visitas de murciélagos se presentó durante el primer muestreo con 128 visitas y para el segundo muestreo fue de 90. Para casi todos

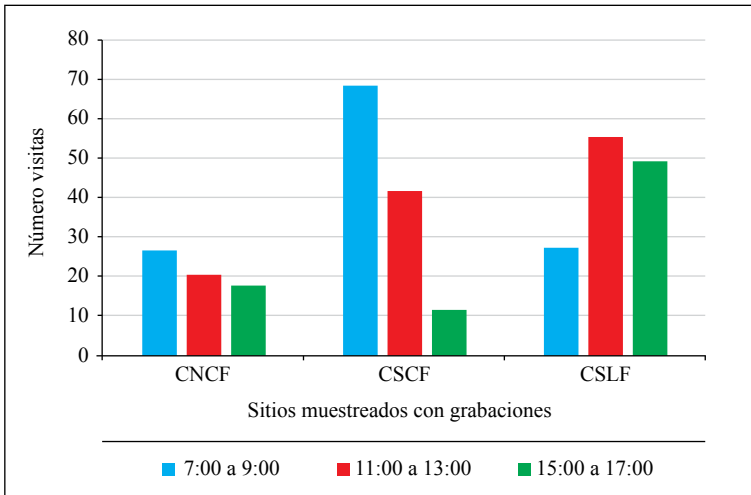


Figura 2. Número de visitas de aves en cada período de grabación (jornada diurna) en los tres sitios muestreados. CNCF: cobertura natura cerca de fragmentos; CSCF: café con sombra cerca de fragmentos, CSLF: café con sombra lejos de fragmentos.

los individuos de este grupo, a excepción de *Artibeus* sp. y de los registros no identificados, el número de visitas oscilaron entre uno y 68 (Tabla 3).

Los mamíferos, que solo hicieron visitas nocturnas, tuvieron un comportamiento de visitas parecido entre coberturas que varió entre 35,6% y 15,7%, siendo CSCF el sitio con más visitas a flores con 159, seguido por CSLF con 36 y CNCF con 23 visitas. En los dos sitios cercanos a fragmentos de bosque se encontraron visitantes florales de los tres órdenes registrados, mientras que en el CSLF sólo se observaron individuos del orden Chiroptera. De este último orden, el CSCF presentó siete géneros, seguido por CSLF con tres géneros y dos géneros en la CNCF (Tabla 3). El máximo de 135 visitas de los mamíferos se presentó entre las 23:00 y 1:00 horas y el mínimo de 15 visitas se registró entre las 19:00 y 21:00 horas. La actividad entre las 3:00 y 5:00 horas fue intermedia con 68 visitas. Los individuos de las familias Cricetidae y Didelphidae solo se observaron en los sitios cercanos a fragmentos de bosque y en las primeras horas de la noche de 19:00

a 21:00 horas, mientras que los quirópteros fueron más frecuentes de 23:00 a 1:00 horas con 134 visitas (66, 2%).

Comportamiento

Con respecto al comportamiento exhibido por los diferentes grupos taxonómicos al momento de acceder a la flor, se encontró preferencia en el comportamiento de robo en el caso de las aves (88,6%) y visitas legítimas en el caso de los mamíferos con el 86,9%; los insectos no mostraron ninguna preferencia (Figura 3).

En las aves, el robo de néctar estuvo presente en la mayoría de las visitas realizadas, principalmente por los colibríes, quienes libaron entre los pétalos y usaron los botones florales cercanos a la flor como perchas para forrajear sin gasto energético. Las tángaras (Thraupidae) y los turpiales (Icteridae), realizaron torsión de pétalos para facilitar el acceso a la parte interna de la flor; sólo en algunos registros se observó ingreso completo a la copa de la flor, como fue el caso de *C. flaveola* (mielero común).

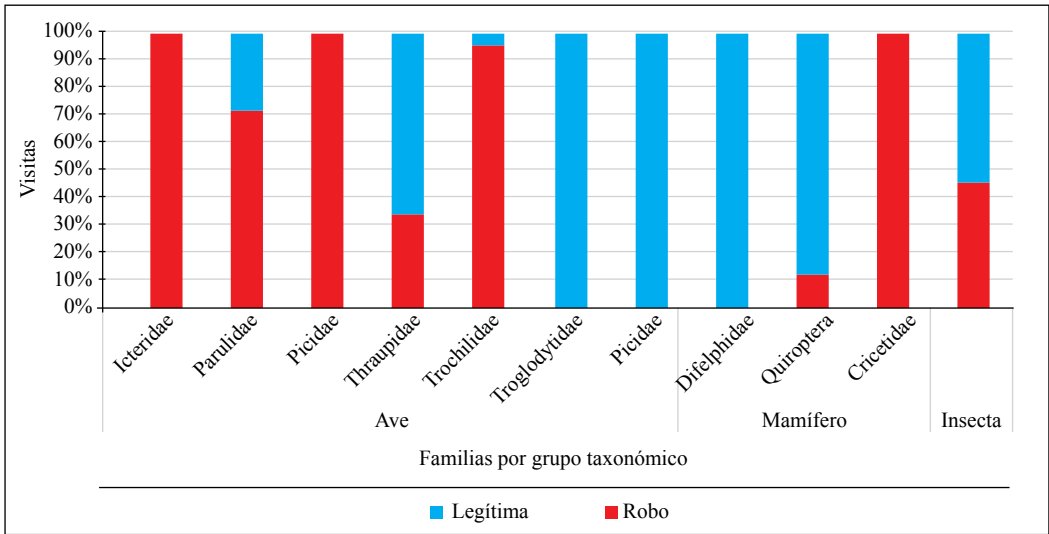


Figura 3. Registros de visitas legítimas y de robo en todos los grupos taxonómicos.

Los mamíferos no voladores como las zarigüeyas (*Didelphidae*) accedieron a la flor por la parte superior, realizaron contacto directo y de mayor duración con las estructuras internas que llevan el polen. Los roedores de la familia *Cricetidae* realizaron una perforación en el cáliz. Los murciélagos libaron durante el vuelo al introducir la cabeza en la parte interna de la flor o entre los pétalos para tomar las gotas que se derramaban por la parte externa; algunas especies se posaron en los pétalos para acceder por la parte superior y en dos registros, se documentó el ingreso completo dentro de la flor.

Para el caso de los insectos, estos accedieron a la flor con el ingreso por la parte superior, al posarse en el pistilo y al caminar en la parte externa de la misma.

Identificación de individuos muertos en las flores de balsa recolectadas del suelo

En total se recolectaron 533 flores, 268 durante el primer muestreo y 265 durante el segundo.

De las flores recolectadas 44,3% no presentaron ningún individuo muerto en su interior y en el 1,3% de las flores se registró el máximo número de individuos muertos por flor. En 388 flores (72,8%) se encontraron entre 0 y 4 individuos muertos en su interior (Figura 4).

La proporción de flores con individuos muertos varió entre sitios, así: el CSLF presentó individuos muertos en el interior de 139 flores de las 153 flores recolectadas en este sitio (90,8%); le sigue el CSCF con 67 de las 207 flores (32,4%); la CNCF con 55 de las 105 flores (52,4%) y el CSAF presentó 36 flores con individuos muertos en su interior, de las 69 recolectas (52,9%). Cuando se compararon los sitios, se encontró que en el CSLF se presentó tanto el mayor promedio de individuos muertos por flor como de individuos de *A. mellifera*, según prueba de Duncan al 5%. Además, los sitios cercanos a fragmentos, presentaron valores similares tanto en el número de individuos muertos por flor, como en la cantidad de individuos de *A. mellifera* encontrados (Tabla 4).

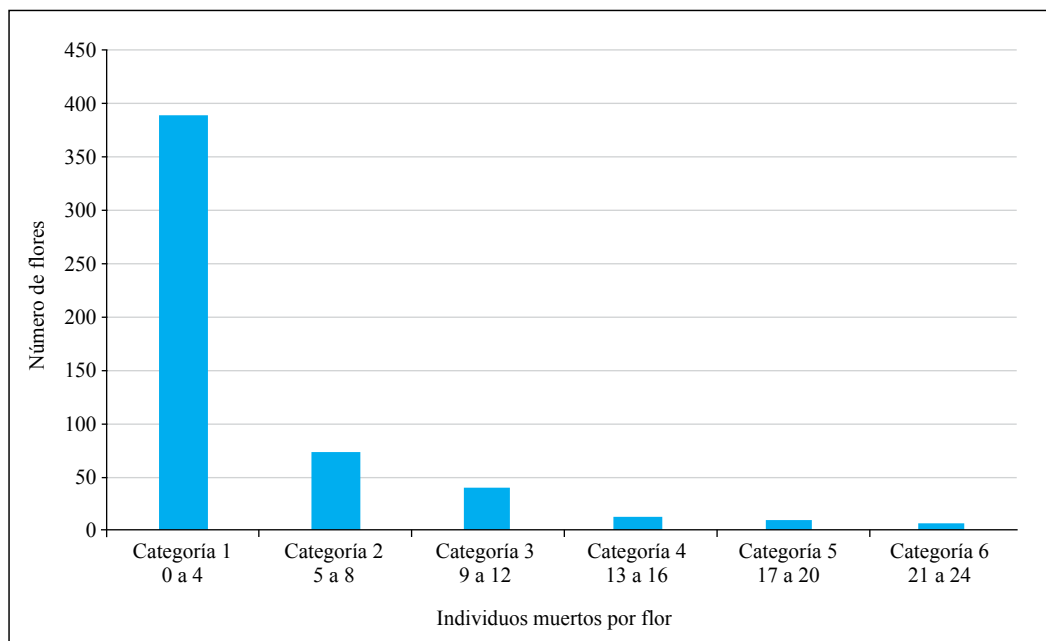


Figura 4. Por categoría, número de flores con individuos muertos durante el período de estudio.

En las 533 flores recolectadas del suelo se encontraron 2.051 individuos muertos, 1.940 corresponden a adultos y 111 a larvas. Estos se encuentran distribuidos en siete órdenes de insectos Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Dermaptera, Hymenoptera Lepidoptera y Neuroptera y dos individuos, del orden Araneae. El número máximo de individuos adultos muertos registrados pertenecen al orden Hymenoptera con 1.398, seguido por Diptera con 256 y Coleoptera con 170; los demás órdenes presentaron menos de 54 individuos cada uno (Tabla 3). Las larvas encontradas corresponden a los órdenes Coleoptera (72 individuos), Diptera (37 individuos), Hemiptera (1 ninfa). Sólo en un espécimen adulto y una larva no se pudo establecer alguna identidad taxonómica.

La determinación a la categoría de familia no pudo realizarse de forma homogénea para todos los órdenes. Hymenoptera presentó la

identificación más completa con el 91,4% de los individuos recolectados. De este orden se registraron 1.137 individuos de la familia Apidae (81,3%) de la cual la especie *Apis mellifera* representa el 79,7% (Tabla 3). El número máximo de individuos de *A. mellifera* fue recolectado en el CSLF, que corresponde al 57,9% del total; en los otros sitios el porcentaje estuvo entre el 9,8% y el 4,7%. Para las demás especies registradas de la familia Apidae (Tabla 3), el sitio con menor frecuencia de individuos muertos fue CNCF, con 41 individuos y el de mayor frecuencia de individuos muertos fue CSLF, con 75 individuos. Los sitios CSAF y CSCF tuvieron abundancias con 57 y 58 individuos, respectivamente (Tabla 3).

El orden Hymenoptera fue el más frecuente en todos los sitios evaluados, de tal manera que en CSLF se registraron 894 individuos, en CSAF 160 individuos, en CSCF 187 y en CNCF 157 individuos (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de visitantes florales. Para aves y mamíferos los valores corresponden a visitas en grabaciones; para insectos, a individuos adultos en flores recolectadas del suelo.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
AVES								
Icteridae								
<i>Icterus galbula (m)</i> (Linnaeus, 1758)			3	1				
Parulidae								
<i>Leiothlypis peregrina (m)</i> (A. Wilson, 1811)			3		17	6		
Picidae								
<i>Melanerpes rubricapillus</i> (Cabanis, 1862)			1			1		
Thraupidae								
<i>Coereba flaveola</i> (Linnaeus, 1758)	2	4	10	20	1	2		
<i>Loriotus luctuosus</i> Orbigny & Lafresnaye, 1837					1			
<i>Stilpnia vitriolina</i> (Cabanis, 1850)				1		5		
<i>Thraupis episcopus</i> (Linnaeus, 1766)			1	1	1			
<i>Thraupis palmarum</i> (Wied-Neuwied, 1821)					1			
Trochilidae								
<i>Anthracothorax nigricollis</i> (Vieillot, 1817)			2	10				
<i>Amazilia tzacatl</i> (De la Llave, 1833)		11	7	2				
<i>Chalybura buffonii</i> (Lesson, 1832)					1	4		
<i>Chaetocercus mulsant</i> (Bourcier, 1842)								
<i>Colibri coruscans</i> (Gould, 1846)	1		1	11				
<i>Colibri delphinae</i> (Lesson, 1839)	1	8	20	2				
<i>Saucerottia castaneiventris</i> (*) Gould, 1856			1					

Continúa...

...continuación.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
<i>Saucerotia cyanifrons</i> (Bourcier, 1843)	23	12	6	7	52	41		
<i>Uranomitra francaiae</i> (Bourcier & Mulsant, 1846)	2		9					
Sin identificar	1	1	4			1		
Troglodytidae								
<i>Campylorhynchus griseus</i> (Swainson, 1837)					2			
Total visitas por salida	30	36	68	55	76	60		
Total visitas	66		123		136			
Total especies	7		14		11			
MAMMALIA								
Cricetidae								
Indeterminado		1	1					
Phyllostomidae								
<i>Anoura</i> sp. (Gray, 1838)	1		67	2		1		
<i>Carolia</i> sp. (Gray, 1838)			3					
<i>Glossophaga</i> sp. (E. Geoffroy, 1818)			7	2	1	1		
Indeterminado		14	4	31		25		
<i>Loncophilla</i> sp. (Thomas, 1903)			9					
<i>Phyllostomus discolor</i> (Wagner, 1843)			16	2	1			
<i>Phyllostomus hastatus</i> (Pallas, 1767)	2	3	8	1	7			
<i>Sturnira</i> sp. (Gray, 1842)			1	1				
<i>Artibeus</i> sp.				4				

Continúa...

...continuación.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
Didelphidae								
<i>Caluromys lanatus</i> (Olfers, 1818)		1						
<i>Didelphis marsupialis</i> (Wagner, 1843)		1						
Total visitas por salida	3	20	116	43	9	27		
Total visitas	23		159		36			
Total familias	3		2		1			
Total especies*	6		9		4			

*no tiene en cuenta especies sin indeterminación

INSECTA								
Coleoptera								
Cantharidae		5						3
Cerambycidae		2				1		1
Chrysomelidae	4	4				4		5
Curculionidae								
<i>Scolytinae</i> spp.	9					2		
Sin identificar						3		
Lycidae						1		
Nitidulidae		5		1		4		1
Staphylinidae		6				1		
Sin identificar	6		26		20		56	
Dermaptera								
Sin identificar							3	
Diptera								
Anisopodidae						3		

Continúa...

...continuación.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
Chloropidae						1		
Drosophilidae		5				9		
Fanniidae						2		
Lauxaniidae						1		
Muscidae		6						
Tephritidae						1		
Sciaridae		17				8		6
Shyrphidae		1				2		
Simuliidae		4						
Tipulidae		1						
Sin identificar	4	28	47	1	61	5	39	4
Hemiptera								
Cicadellidae		1						
Lygaeidae						1		
Membracidae		1				10		
Miridae		1				29		
Reduviidae						2		
Sin identificar	1	1			6		1	
Hymenoptera								
Apidae								
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758)	14	69	108	3	351	307	41	13
<i>Exomalopsis</i> spp.					2	1	1	
<i>Geotrigona</i> spp.					3			
<i>Lasioglossum</i> spp.					6		1	

Continúa...

...continuación.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
<i>Meliponini/ Paratrigona</i> spp.		1						
<i>Nannotrigona</i> spp.								1
<i>Paroxystoglossa</i> spp.					1		3	
<i>Partamona musarum</i> (Cockerell, 1917)						28		
<i>Partamona</i> spp.			3		5	25		
<i>Plebeia</i> spp.	1		7				6	
<i>Trigona amalthea</i> (Olivier, 1789)		2		2				7
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)		5	6	6		1	1	
<i>Trigona</i> spp.		1						
<i>Trigona amalthea</i> cf. (Olivier, 1789)		20						
<i>Trigonisca</i> spp.	1							
Sin identificar	10		34		3		37	
Braconidae						1	24	
Figitidae						2		
Formicidae	1	5	4		5	8	3	1
Halictidae						1		
Ichneumonidae						2		1
Mymaridae							1	
Scelionidae						3		
Vespidae								

Continúa...

...continuación.

Taxón	CNCF		CSCF		CSLF		CSAF	
	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2	Nº visitas muestreo 1	Nº visitas muestreo 2
<i>Polistes</i> spp.						79		
Sin identificar	2	19		1	33	16	5	4
Sin identificar	2	4	13		11		8	2
Lepidoptera		11	4	2	5	8	2	1
Neuroptera			1		1			
Sin identificar	1							
ARACHNIDA								
Aranae								
Sin identificar		2						
Total individuos totales	283		269		1085		282	

* CNCF: cobertura natural cerca de fragmentos, CSCF: café con sombra cerca de fragmentos, CSAF: café con sombra alejado a fragmentos; CSLF: café con sombra lejos de fragmentos

Tabla 4. Promedio de individuos muertos por flor y error estándar, para individuos totales y *Apis mellifera*, en cada sitio evaluado.

Sitio	Individuos muertos por flor		Individuos muertos de <i>A. mellifera</i> por flor	
	Media	*E.E	Media	*E.E
CSCF	1,41C	0,22	0,53B	0,11
CNCF	2,34BC	0,36	0,79B	0,17
CSLF	6,82A	0,45	4,30A	0,32
CSAF	2,62B	0,45	0,79B	0,17

*Letras no comunes indican diferencias significativas según prueba Duncan al 5%. *E. E= Error estándar

Sitios: CNCF: cobertura natura cerca de fragmentos; CSCF: café con sombra cerca de fragmentos, CSLF: café con sombra lejos de fragmentos; CSAF: café con sombra alejado a fragmento

Registros de marcas en flores recolectadas

De las 46 flores que presentaron algún tipo de lesión, 15 mostraron marcas por roedores, las otras corresponden a rasgaduras por aves o marcas sin identificar. Las marcas de estos mamíferos sólo fueron encontradas en el café con sombra cerca de fragmentos durante el segundo muestreo y en la cobertura natural durante los dos muestreos. El café con sombra lejos de fragmentos fue el sitio con menos lesiones y ninguna de estas fue coincidente con roedores.

DISCUSIÓN

Riqueza y abundancia

Los resultados encontrados mostraron que la flor del balsa negro fue visitada por una gran diversidad de organismos vertebrados e invertebrados tanto en el día como en la noche. Con respecto a número de especies de aves esta riqueza fue similar a la encontrada en árboles de balsa negro localizados en una cobertura boscosa en el estudio realizado por Kays et al. (2012) en Barro Colorado (Panamá). Pacheco Riaño (2013) y Sánchez-Clavijo et al. (2008) reportaron para Santander una riqueza de especies de colibríes similar a la hallada en balsa negro en este estudio, en una zona más amplia y que incluyó otros tipos de cobertura.

En esta investigación no se observaron mamíferos diurnos, lo que sí se registró en Barro Colorado (Kays et al., 2012); en cuanto a los nocturnos no voladores el número de especies fue mayor en Panamá. Sin embargo, este estudio encontró cinco géneros más de Chiroptera que los registrados en Barro Colorado; aunque las horas de grabaciones realizadas en Santander fueron menos de una tercera parte que a las hechas en Panamá, no obstante, no se descarta la presencia de otras especies en este sitio.

Es posible que las diferencias encontradas en la riqueza de aves y mamíferos como visitantes de balsa negro se deban a las diferencias ecológicas de los sitios evaluados, este estudio se realizó en una zona más transformada, entre tanto las observaciones realizadas en Barro Colorado se hicieron en un bosque húmedo tropical conservado y continuo, que representa un paisaje y hábitat diferente a los sitios evaluados en Santander.

Esto puede explicar la diferencia en cuanto a la riqueza de especies de mamíferos no voladores ya que estos grupos son más sensibles a la transformación del paisaje como los evaluados en Santander (Crooks et al., 2017). Sin embargo, no se descarta que algunas de estas especies visiten las flores de balsa en Santander, en el paisaje con fragmentos de bosque cercanos y que no hayan sido registrados durante el muestreo. En cuanto a la riqueza de mamíferos nocturnos en Santander, también pudo incidir que el primer muestreo realizado en la cobertura natural coincidió con un período de luna llena que, de acuerdo con Prugh y Golden (2014), suprime la actividad en grupos de mamíferos con el fin de pasar inadvertidos ante la presencia de depredadores. Lo anterior, podría explicar que, a pesar de no haberse observado algún mamífero no volador durante el primer muestreo en este sitio en las jornadas nocturnas, sí se hayan encontrado marcas de roedores en las flores recolectadas del suelo.

Síndrome floral del balsa negro

Aunque se esperaría que por tratarse de una flor con síndrome quiropterofilia esta sería visitada principalmente por murciélagos (Faegri & Pijl, 1979); en el presente estudio, se encontró que la flor del balsa fue visitada principalmente por insectos, además de una amplia diversidad de organismos vertebrados e invertebrados,

independiente del tipo de cobertura o de la composición del paisaje.

En la actualidad, el concepto de síndrome floral ha sido ampliamente discutido ya que se considera que es un criterio de inclusión más que de exclusión (Fenster et al., 2004; Valdivia & Niemeyer, 2006; De Merxem et al., 2009; Ashworth et al., 2015). Los resultados de esta investigación muestran que, en efecto, cierto tipo de flores incluidas las del balsa negro, no son tan específicas como para excluir otros visitantes y, por el contrario, la recompensa suministrada a través del néctar atrae varios grupos de organismos, en concordancia con algunas teorías que sugieren que las plantas angiospermas se caracterizan por una moderada generalización más que por la especialización (Ollerton, 1996).

Si bien este estudio no tuvo como objetivo evaluar el papel de los visitantes como polinizadores, las observaciones realizadas indican que los mamíferos pueden tener un papel importante como polinizadores potenciales, ya que la mayoría de las visitas de este grupo fueron legítimas, es decir, tuvieron contacto con las estructuras reproductivas, y en el caso de los mamíferos arbóreos, se observó más tiempo de interacción con la flor que los otros grupos; lo que concuerda con lo encontrado por estudios anteriores (Mora et al., 1999; Kays et al., 2012). El comportamiento exhibido por algunas especies de este grupo al momento de acceder a la flor y la capacidad para transportar el polen, podría determinar un mayor aporte en el proceso de polinización que el número de visitas. Este planteamiento concuerda con los resultados de Kays et al. (2012), los cuales encontraron que las abejas no actúan como polinizadores y que la formación de frutos fue mayor cuando se restringieron los visitantes diurnos.

Modulación del paisaje y de la cobertura en los visitantes florales

En los sitios que se encuentran cercanos a fragmentos de bosque (CSCF y CNCF) el número de especies fue mayor para el grupo de los mamíferos, independiente de su cobertura. Esto puede deberse a que la cercanía a un área de protección puede cumplir una función importante como fuente de biodiversidad (Perfecto et al., 2003), sobre todo para este grupo de organismos, los cuales pueden verse beneficiados de acuerdo a la matriz circundante y a la conectividad presente en el paisaje, además de la presencia de áreas con vegetación natural como rastrojos, bosques riparios y otros fragmentos de menor tamaño (Perfecto et al., 1996). En los paisajes donde hay escasos fragmentos de bosque, la cobertura agroforestal se vuelve importante desde el punto de vista de la conservación, si se tiene en cuenta que en los paisajes rurales de la región prácticamente no quedan remanentes de vegetación natural (Gómez-Echeverri, 2006; Guhl, 2009; Sánchez Clavijo et al., 2008), y por lo tanto, muchas especies encuentran en los sombríos un hábitat para subsistir (Sánchez-Clavijo & Botero, 2007), además de ayudar a aumentar la conectividad y la heterogeneidad en los paisajes (Mendoza et al., 2007). Es por esto que la selección de las especies que acompañan estos agroecosistemas toma relevancia.

El uso del balsa negro como sombrío en los cafetales representa una fuente importante de recurso alimenticio para los diferentes grupos de animales; aunque se trata de un sistema intervenido, la frecuencia de las visitas fue igual que en la cobertura natural para todos los grupos evaluados, a excepción de los insectos nocturnos. Pacheco Riaño (2013), en su estudio en Santander encontró que, al comparar la riqueza de aves en sistemas agroforestales con fragmentos de bosque, esta no presentó

variación entre las coberturas. Así mismo, es posible que al establecer los balsos como sistema agroforestal con una mayor densidad que en la cobertura natural, la concentración de recursos sea mayor y más atractiva para los diferentes grupos de visitantes.

En el sitio café con sombra lejos de fragmentos de bosque en el paisaje de Aratoca, sólo se registraron murciélagos y no se encontraron rastros de otros mamíferos en las flores recolectadas. En este sitio, la ausencia de cobertura natural en la zona limita la presencia de mamíferos no voladores, un grupo amenazado por deforestación, cacería y comercio ilegal (Solarí et al., 2013), los cuales se encuentran más expuestos a predadores como perros domésticos al tener menos áreas con cobertura natural (Mosquera Muñoz et al., 2014); adicionalmente, se supo por conversaciones con la comunidad que la práctica de la cacería es muy arraigada en Santander, situación que ya ha sido documentada en otros estudios (Vargas-Tovar, 2000; Montero, 2004).

Para los murciélagos, la disminución de cobertura natural, representa limitación de recursos alimenticios, sitios de refugio y anidación como oquedades de árboles (Casallas-Pabón *et al.*, 2013). Sin embargo, la presencia de cavernas en Santander podría proveer refugio a varias especies de murciélagos y permitir una recuperación de sus poblaciones. En este caso es necesario que el turismo de espeleología que se lleva a cabo en la zona se establezca de forma controlada para que no se convierta en una amenaza para este grupo como ha sido señalado en otros estudios (Casallas-Pabón et al., 2013; Ojeda, 2013).

Mortalidad de insectos en flores del balsa

Con respecto a la información sobre individuos muertos en las flores recolectadas del suelo,

en la investigación realizada por Brighenti & Brighenti (2010) en el campus de la Universidad Federal de Lavras (UFLA)-Minas de Gerais (Brasil), encontraron resultados similares a los presentados en esta investigación. Las mayores mortalidades de ambos estudios se presentaron en el orden Hymenoptera, representando entre el 63% y el 98% de insectos muertos. En ambas investigaciones, Apidae fue la más representativa, siendo *A. mellifera* la más abundante en Santander en el CSLF; aunque en Brasil sólo se recolectaron individuos de los géneros *Apis*, *Partamona*, *Plebeia*, *Tetragonisca* y *Trigona*, en este estudio además de las anteriores, se registraron especies de los géneros *Exomalopsis*, *Geotrigona*, *Lasioglossum* y *Paroxystoglossa*. La diferencia en estos hallazgos, en cuanto a la cantidad de los géneros reportados, puede deberse a las diferencias en los ecosistemas evaluados y a la cantidad de flores de balsa negro examinadas, mientras que Brighenti & Brighenti (2010) seleccionaron un solo sitio y analizaron 40 flores, en esta investigación se recolectaron 533 flores en cuatro sitios con condiciones diferentes. Si bien, en ninguno de los resultados se identificaron las causas de la muerte de los insectos, Brighenti & Brighenti (2010) sugieren que puede deberse a toxicidad del néctar o ahogamiento, pero no hay información adicional que sustente estas teorías. Lo cierto es que la baja mortalidad encontrada en los sitios cercanos a fragmentos de bosque, en contraste con el sitio muestreado en el paisaje de Aratoca, con poca presencia de cobertura natural y en un paisaje menos conservado, indican que se trata de un problema más localizado.

Al analizar la proporción de flores sin individuos muertos en su interior, los resultados son diferentes a lo encontrado por Brighenti & Brighenti (2010). Mientras que estos investigadores encontraron que solo

el 20% de las flores analizadas no tenían individuos muertos, en esta investigación fue del 44,3%. Igual sucedió con el promedio de insectos muertos por flor, mientras que en Brasil fue de 23,7 individuos, en este estudio estuvo entre 1,41 y 6,82 individuos. En del sitio CSLF, el promedio fue $6,82 \pm 0,45$ individuos muertos por flor, descriptivamente similar a lo encontrado por Giraldo Jaramillo (2012) quien registró un promedio de 5,64 individuos muertos por flor, en 35 flores evaluadas.

Es posible que la menor mortalidad encontrada en los sitios localizados cerca de fragmentos de bosque se deba a que la presencia de mamíferos que perforan la base de la flor para extraer el néctar, como el observado en roedores, podría facilitar la eliminación de volúmenes importantes de este líquido. Al reducir el volumen durante la noche, la flor del balsa no acumularía cantidad suficiente de néctar que pudiera afectar la sobrevivencia de individuos que cayeran dentro de la copa floral. Esto podría estar relacionado con la menor mortalidad encontrada en los sitios donde se registraron estos individuos a partir de observaciones directas o con las marcas en la flor. En este sentido, la presencia de este grupo de mamíferos podría contribuir a generar las condiciones apropiadas para que los insectos diurnos pudieran beneficiarse del balsa, sin correr los riesgos que implican caer en una flor llena de néctar.

Finalmente pueden hacerse las siguientes consideraciones:

En la presente investigación se muestra el valor ecológico que tiene el balsa negro como especie nativa en paisajes transformados y agro ecosistemas como el café con sombra, al ser un recurso alimenticio importante para diversos grupos de organismos que, dentro de un sistema productivo, puede contribuir

de forma positiva al sostenimiento de esta biodiversidad.

Conclusiones generadas sin rigurosidad científica sobre los eventos de mortalidad de abejas en las flores del balsa negro, llevaron a que la especie fuera vetada de los viveros en el departamento de Santander y su uso como sombrío fuera amenazado, desconociendo los beneficios que puede traer para la biodiversidad en general.

Los resultados de esta investigación muestran la baja mortalidad de insectos en las flores del balsa, presentada en los sitios evaluados cercanos a fragmentos de bosque. Esto muestra la importancia que tiene la configuración del paisaje en las relaciones ecológicas entre diferentes organismos que lo habitan; además, se evidencia el potencial que puede tener el uso del balsa para la biodiversidad y su inclusión en sistemas productivos. Sin embargo, esta información debe ser tratada con prudencia dado que no se realizaron correlaciones entre la mortalidad presentada en el paisaje Aratoca y otras variables que pueden estar contribuyendo a la presencia de abejas muertas en las flores, independiente de la presencia del balsa negro en la región.

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Cafeteras, en particular a Raúl Jaime Hernández Coordinador del programa de medio ambiente y KFW y Cooperación Alemana, quienes apoyaron el desarrollo de esta investigación. A todas las personas que contribuyeron de alguna forma a que esta investigación se llevara a cabo, especialmente a quienes revisaron las grabaciones de videos, a los especialistas profesionales y colaboradores que identificaron los registros de los diferentes grupos taxonómicos: mamíferos, Harold Castaño; insectos, Jesús H. Gómez,

Juan D. Maldonado y Juan C. Ortiz; y a Esther Cecilia Montoya quien asistió el análisis de datos. Esta investigación fue desarrollada para optar el título de Magíster en Ciencias Biológicas de la Universidad de Caldas.

Origen y fuente de financiación

Esta investigación fue financiada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros y del programa KFW proyecto ENT102004.

LITERATURA CITADA

- Amaya-Márquez, M. (2016). Polinización y biodiversidad. En G. Nates Parra (Ed.), *Iniciativa colombiana de polinizadores: Abejas ICPA* (1a ed., pp. 21–42). Universidad Nacional de Colombia.
- Arce, H. G., Sánchez-Chavez, L. A., Slaa, J., Sánchez-Vindas, P. E., Ortiz-Mora, A., van Veen, J. W., & Sommeijer, M. (Eds.). (2001). *Arboles melíferos nativos de Mesoamérica* (1a ed.). Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales.
- Ashworth, L., Aguilar, R., Martín-Rodríguez, S., Lopezarazua-Mikel, M., Avila-Sakar, G., Rosas-Guerrero, V., & Quesada, M. (2015). Pollination Syndromes: A Global Pattern of Convergent Evolution Driven by the Most Effective Pollinator. En P. Pontarotti (Ed.), *Evolutionary Biology: Biodiversification from Genotype to Phenotype* (pp. 203–224). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19932-0_11
- Brighenti, D. M., & Brighenti, C. R. G. (2010). Bees (Hymenoptera: Apidae) present in the flowers of the balsa wood *Ochroma lagopus* Swartz, 1788. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 32(4), 343–348. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v32i4.7103>
- Cabrera, C. (2013). *Caracterización del ensamblaje de murciélagos asociado a tres cuevas con intervención antrópica y sus alrededores, en el área de influencia del enclave seco del Chicamocha, Santander*. [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/2379/>
- Casallas-Pabón, D., Hoyos-Rodríguez, M., Baptiste, B. L. G., & Salas, D. (2013). Conservación de las Cavernas en Santander. En Y. Muñoz-Saba, I. González-Sánchez, & N. Calvo-Roa (Eds.), *Cavernas de Santander, Colombia: Guía de campo* (1a ed., p. 57-62). Universidad Nacional de Colombia.
- Crooks, K. R., Burdett, C. L., Theobald, D. M., King, S. R. B., Di Marco, M., Rondinini, C., & Boitani, L. (2017). Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(29), 7635–7640. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705769114>.
- de Merxem, D. G., Borremans, B., de Jäger, M. L., Johnson, T., Jooste, M., Ros, P., Zenni, R. D., Ellis, A. G., & Anderson, B. (2009). The importance of flower visitors not predicted by floral syndromes. *South African Journal of Botany*, 75(4), 660–667. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.08.002>.
- Fægri, K., & Van Der Pijl, L. (1979). *Principles of Pollination Ecology* (3a ed.). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00736-3>
- Farfán V., F. (2012). *Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/746>.
- Fenster, C. B., Armbruster, W. S., Wilson, P., Dudash, M. R., & Thomson, J. D. (2004). Pollination Syndromes and Floral Specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 375–403. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132347>
- Francis, J. K., & Lowe, C. A. (2000). *Bioecología de Arboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales* (S. Trabanino, Trad.; General Technical Report IITF-15; p. 582). International Institute of Tropical Forestry; United States Department of Agriculture. https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/Bioecologia_gtr15.pdf
- Giraldo Jaramillo, M. (2012). *Informe de visita técnica a San Gil, Santander. Diagnóstico de la presencia de abejas muertas en flores de balsa en cultivos de café*. (p. 15). Cenicafé.
- Gómez-Echeverri, J. P. (2006). *Evaluación del papel de las certificaciones ambientales al café en la conservación de la biodiversidad: Un enfoque a las comunidades de aves*. [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. <http://hdl.handle.net/1992/25723>

- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 114–125. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81511766009>
- Janson, C. H., Terborgh, J., & Emmons, L. H. (1981). Non-Flying Mammals as Pollinating Agents in the Amazonian Forest. *Biotropica*, 13(2), 1. <https://doi.org/10.2307/2388065>
- Kays, R., Rodríguez, M. E., Valencia, L. M., Horan, R., Smith, A. R., & Ziegler, C. (2012). Animal Visitation and Pollination of Flowering Balsa Trees (*Ochroma pyramidale*) in Panama. *Mesoamericana*, 16(3), 56–70.
- López Camacho, R., & Montero González, M. I. (2005). *Manual de identificación de especies forestales en bosques naturales con manejo certificable por comunidades*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/Manual_identificacion.pdf
- Mancina, C. A., García, L., Hernández, F., Muñoz, B., Sánchez, B., & Capote, R. T. (2002). Las plantas pioneras en la dieta de aves y murciélagos de la Reserva de la Biosfera “Sierra del Rosario”, Cuba. *Acta Botánica Cubana*, 193, 14–20. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/3553>
- Mendoza, J. E., Jiménez, E., Lozano-Sambrano, F. H., Caicedo-Rosales, P., & Renjifo, L. M. (2007). Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes Centrales de Colombia. En C. A. Harvey & J. C. Sáenz (Eds.), *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* (1a ed., pp. 251–289). Instituto Nacional de Biodiversidad.
- Michener, C. D. (2007). *The bees of the world* (2a ed.). Johns Hopkins University Press.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>
- Montero, C. R. (2004, septiembre 5-10). Factores culturales y de uso que inciden en la cacería en el municipio de Mogotes, Santander, Colombia. *VI Congreso Internacional sobre Manejo de Fauna Silvestre en la Amazonía y Latinoamérica*. Iquitos, Perú <https://comfauna.org/congresos/memorias-y-resumenes/2004-iquitos-peru/>
- Mora, J. M., Méndez, V. V., & Gómez, L. D. (1999). White-nosed coati *Nasua narica* (Carnivora: Procyonidae) as a potential pollinator of *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 719–721. <https://doi.org/10.15517/rbt.v47i4.19228>
- Mosquera Muñoz, D. M., Corredor, G., Cardona, P., & Armbrrecht, I. (2014). Fototrampeo de aves caminadoras y mamíferos asociados en el piedemonte de farallones de Cali. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 18(2), 144–156. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/4121>
- Ollerton, J. (1996). Reconciling Ecological Processes with Phylogenetic Patterns: The Apparent Paradox of Plant—Pollinator Systems. *The Journal of Ecology*, 84(5), 767–769. <https://doi.org/10.2307/2261338>
- Pacheco Riaño, L. C. (2013). *Las comunidades de aves, sus grupos funcionales y servicios ecosistémicos en un paisaje cafetero colombiano* [Tesis de pregrado, Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/12490>
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & van der Voort, M. E. (1996). Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience*, 46(8), 598–608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T., & Vandermeer, J. (2003). Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: A tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 12(6), 1239–1252. <https://doi.org/10.1023/A:1023039921916>
- Prugh, L. R., & Golden, C. D. (2014). Does moonlight increase predation risk? Meta-analysis reveals divergent responses of nocturnal mammals to lunar cycles. *Journal of Animal Ecology*, 83(2), 504–514. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12148>
- Quiñones, A. (2018). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana*. Wildlife Conservation Society.
- Rainforest Alliance. (2017). *Norma para Agricultura Sostenible Para producción agrícola y ganadera de fincas y grupos de productores* (1.2; p. 60). Sustainable Agriculture Network. https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2017/11/03_rainforest-alliance-sustainable-agriculture-standard_sp.pdf
- Restall, R., Rodner, C., & Lentino, M. (2007). *Birds of northern South America: An identification guide* (Vol. 2). Christopher Helm.
- Rivera, H., & Gómez, A. (1992). El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión. *Avances Técnicos Cenicafé*, 177, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0177>

- Sánchez-Clavijo, L. M., Botero, J. E., & Vélez, J. G. (2007). Estructura, diversidad y potencial para conservación de los sombríos en cafetales de tres localidades de Colombia. *Revista Cenicafé*, 58(4), 304–323. <http://hdl.handle.net/10778/159>
- Sánchez-Clavijo, L. M., Vélez, J. G., Durán, S. M., García, R., & Botero, J. E. (2008). Estudio regional de la biodiversidad en los paisajes cafeteros de Santander. *Boletín Técnico Cenicafé*, 31, 1–69. <http://hdl.handle.net/10778/586>
- Silveira, F. A., Melo, G. A. R., & Almeida, E. A. B. (2002). *Abelhas brasileiras: Sistemática e identificação* (1a ed.). Silveira.
- Smithsonian's National Zoo & Conservation Biology Institute. (2017). *Bird Friendly Farm Criteria*. Smithsonian's National Zoo. Recuperado el 15 de septiembre de 2022, de <https://nationalzoo.si.edu/migratory-birds/bird-friendly-farm-criteria>.
- Solari, S., Muñoz-Saba, Y., Rodríguez-Mahecha, J. V., Defler, T. R., Ramírez-Chaves, H. E., & Trujillo, F. (2013). Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia. *Mastozoología Neotropical*, 20(2), 301–365. <https://www.redalyc.org/pdf/457/45729294008.pdf>.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (7th ed). Thomson, Brooks/Cole.
- Valdivia, C. E., & Niemeyer, H. M. (2006). Do floral syndromes predict specialisation in plant pollination systems? Assessment of diurnal and nocturnal pollination of *Escallonia myrtoidea*. *New Zealand Journal of Botany*, 44(2), 135–141. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2006.9513014>.
- Vargas-Tovar, N. (2004, agosto 13). *Coevolucion del Sistema Cultural, Legal y Economico Alrededor de la Cacería en un Sector de la Zona Andina, Santander Colombia*. X Biennial Conference of the International Association for the Study of Common Property, Oaxaca, Mexico. <https://hdl.handle.net/10535/276>.
- Vázquez-Yanes, C., Batis-Muñoz, A. I., Alcocer-Silva M. I., Gual-Díaz M., Sánchez-Dirzo C. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO–Instituto de Ecología, UNAM. http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/15-bomba6m.pdf.
- Wilkinson, G. S., & Boughman, J. W. (1998). Social calls coordinate foraging in greater spear-nosed bats. *Animal Behaviour*, 55(2), 337–350. <https://doi.org/10.1006/anbe.1997.0557>.
- Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (Eds.). (2005). *Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference* (3a ed.). Johns Hopkins University Press.

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.
Wilmar 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.
Orlando Salazar G.
Jeison Alexander Hoyos G., Aprendiz

Biometría

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

Calidad

Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp.
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
Lina María González C., Química Industrial M.Sc*.
Claudia Tabarez A., Ing. Química*
Lady Juliet Vargas G., Ing. Alimentos*
Miguel Junior Martínez H., Tecnólogo en Proceso
Biotecnológicos*
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción
Agropecuaria Ecológica
Érica Patricia Corredor T., Licenciada en Ciencias Naturales
y Educación*
Wilson Vargas L.
Víctor Manuel Castañeda G.

Economía Agrícola

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

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo, Ph.D.

Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Lucio Navarro E., Biólogo, Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Laura C. Holguín S., Microbióloga, M.Sc*
Bertilda Pedraza C., Bacterióloga, Esp. en Ciencia y
Tecnología de Alimentos*
Dean Jhon Sequeda N., Tecnólogo en Control Ambiental*
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Faber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.
José Robin García C.
Gloria Patricia Naranjo E.
Ramón Antonio Montoya C.
Ángela María Lasso P., Pasante
Paula Andrea Figueroa V., Pasante
Rosa Nathalie Grueso G., 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

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

Fitotecnia

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo
Alexander Jaramillo J.

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
Gina Gabriela Campos M., Pasante
Romario Palacio C., 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.
Sandra Paola Moreno R., Ing. Biológica, M.Sc*
Ingrid Paola Hower G., Ing. Alimentos, Esp*
Jhoan Felipe García D., Ing. Alimentos*
Anyela Vanessa Velásquez E., Microbiólogo*
Juan Manuel Rendón R., Tecnólogo en Química*
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Juan Camilo Montes C., Tecnólogo en diseño de elementos mecánicos
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda
Juan Carlos Ortiz F.
Carol Vanessa Osorio G., Pasante
Yenifer Paola Urrea A., Aprendiz
Eduardo Duque D., Pasante

Suelos

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

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
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
Angie Manuela Serna B., Aprendiz

Estación Experimental El Tambo

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

Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal, 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.
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñador Visual
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñador Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Kathryn Hernández Abadía, Aprendiz Universitario
Esteban Zuluaga Duque, Aprendiz Universitario
Santiago Aranzazu O., Aprendiz Universitario
Jackeline Tabares Gutiérrez., Aprendiz

Tecnología de la Información y Comunicaciones

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

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.
Daniela López O., Contadora, Esp.
Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
Manuela Duque R., Pasante

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Carolina Correa M., Profesional en Negocios Internacionales
Lina María Giraldo, Administrador Financiero
Lina María Buitrago A., Administrador de Empresas
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Brahian Steven Narváez G., Tecnólogo en Contabilidad y Finanzas
Gabriel Antonio Melo P.
Juliana Vallejo H., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

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

Oscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial

Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café
Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico
Santiago Rojas G., Tecnólogo en diseño, implement. y mant. de sistemas de telecomunicaciones

José Mauricio Morales L., Tecnólogo en Electrónica Industrial

Luis Fernando Cardona, Técnico Profesional en Mantenimiento Electrónico
Uriel López P.

Fredy Hernán Osorio C.

Jhon Fredy Rojo G.

Jorge Eduardo Sepúlveda V.

Carlos Andrés Hernández G.

Mario López L.

Mónica Yulieth Vargas M., Aprendiz

Andrea Hernández G., Aprendiz

Gestión de Tesorería

Jesús Danilo González O., Contador, Esp.

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

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®

Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®

Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas

Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas

* Personal adscrito a la nómina variable de los Comités de Quindío y Cesar, quienes desarrollan actividades de investigación en los Proyectos de Regalías bajo el direccionamiento de Cenicafé.

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame.
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas.
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*.
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva.
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural.
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>: $A = R \times K \times S \times L \times C \times P <1>$.
- 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

Impresión: 300 ejemplares

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.